



**Daniel José Pereira  
Santos**

**Desempenho térmico de uma cobertura verde num  
edifício solar passivo**



**Daniel José Pereira  
Santos**

**Desempenho térmico de uma cobertura verde num  
edifício solar passivo**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

## **O júri**

Presidente

**Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**  
Professora Associada com Agregação, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

Vogal

**Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa**  
Professor Associado, Faculdade de Engenharia,  
Universidade do Porto

Vogal

**Professor Doutor António José Barbosa Samagaio**  
Professor Associado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro  
(Orientador)

## **Palavras-chave**

Cobertura verde, célula de teste, desempenho térmico

## **Resumo**

Sendo já uma solução construtiva comum nalguns países, as coberturas verdes têm sofrido grandes evoluções técnicas desde o seu aparecimento, constituindo agora um elemento cada vez mais preponderante na construção sustentável, com resultados positivos demonstrados em estudos térmicos e hidrológicos. A presente dissertação pretende testar o desempenho térmico de uma cobertura verde do tipo extensivo, comparando o seu comportamento com uma cobertura tradicional. A partir da análise bibliográfica e da pesquisa dos seus parâmetros térmicos característicos, foi instalado um sistema de dados numa célula de teste dividida em dois compartimentos com as duas coberturas e analisados os registos de radiação solar, temperatura e humidade externa e interna, fluxo de calor e velocidade do vento. Devido à forte exposição solar da fachada a sul da célula de teste, as temperaturas interiores suplantaram as exteriores à célula e o fluxo de calor durante o dia foi maioritariamente para o exterior da célula. Nestas condições, os dados obtidos permitiram concluir que o desempenho da cobertura verde foi semelhante à da cobertura de teste para o período de medições. Foram ainda sugeridas alterações estruturais na célula de teste para diminuir a influência da radiação solar através da fachada.

**Keywords**

Green roof, test cell, thermal performance

**Abstract**

Being a common constructive solution in some countries, green roofs have shown great technical evolution since its appearance, turning now into an increasingly prominent element in sustainable construction, with demonstrated positive results in thermal and hydrological studies. This dissertation aims to test the thermal performance of an extensive green roof comparing it to a traditional roof. From the information collected in bibliography and the analysis of their thermal parameters, a data collection system was installed in a test cell divided into two compartments with the two different roofs and data of solar radiation, external and internal temperature and humidity, heat flux and wind speed were measured. Due to strong sunlight in the south and most exposed facade of the test cell, during the day, indoor temperatures supplanted the outside temperatures and the heat flux was mostly from the inside to the exterior of the cell. Accordingly to the the data showed, the performance of green roof coverage was similar to the traditional coverage for the measurement period in the present test conditions. It was also suggested minor structural changes in the test cell to reduce the influence of solar radiation through the south façade.

---

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1. Enquadramento.....	8
1.2. Objetivos .....	10
1.3. Metodologia .....	10
1.4. Estrutura do trabalho .....	11
<b>CAPÍTULO 2 - COBERTURAS VERDES .....</b>	<b>12</b>
2.1. Descrição .....	12
2.2. Tipos .....	12
2.2.1. Coberturas verdes Intensivas .....	16
2.2.2. Coberturas verdes Extensivas .....	17
2.2.3. Vantagens e desvantagens.....	18
2.3. Composição .....	19
2.3.1. Membrana impermeabilização .....	20
2.3.2. Camada de drenagem .....	21
2.3.3. Camada de proteção anti raiz .....	23
2.3.4. Camada filtrante.....	24
2.3.5. Camada de substrato .....	24
2.3.6. Camada de vegetação .....	25
2.4. Manutenção .....	28
2.5. Evolução .....	12
2.6. Benefícios da Aplicação de Coberturas Verdes.....	29
2.6.1. Biodiversidade.....	29
2.6.2. Gestão de águas pluviais .....	30
2.6.3. Prolongamento do tempo de duração da cobertura .....	30
2.6.4. Proteção contra ruído .....	30

---

2.6.5.	Proteção contra incêndios.....	31
2.6.6.	Qualidade do ar urbano .....	31
2.6.7.	Redução do efeito de ilha de calor urbano .....	32
2.6.8.	Benefícios estéticos e aumento do espaço útil .....	32
2.6.9.	Isolamento e eficiência energética.....	32
2.7.	Legislação aplicável .....	34
2.8.	Normalização.....	35
2.9.	Exemplos de Coberturas Verdes .....	36
2.10.	Desempenho Térmico .....	38
2.10.1.	Mecanismos de Transferência de calor.....	39
2.10.2.	Comportamento térmico .....	41
2.10.3.	Estado de Arte .....	43
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>		<b>46</b>
3.1.	Localização e orientação .....	46
3.2.	Célula de Teste .....	47
3.3.	Cobertura Verde.....	49
3.4.	Sistema de aquisição de dados .....	51
3.5.	Monitorização .....	59
3.5.1.	Temperatura.....	59
3.5.2.	Radiação solar .....	61
3.5.3.	Fluxo de calor .....	62
3.5.4.	Humidade e Vento.....	62
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>		<b>64</b>
4.1.	Dados meteorológicos.....	65
4.2.	Dados da célula de teste: compartimento de controlo e compartimento de teste .....	67
4.2.1.	Temperaturas superficiais.....	67
4.2.2.	Temperaturas internas.....	68
4.2.3.	Fluxo de calor .....	71
<b>CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>		<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>75</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Cobertura verde intensiva (Fonte: ZINCO (2012)) .....	16
<b>Figura 2.2</b> Cobertura extensiva do género Sedum (Fonte: (ZINCO, 2012) .....	18
<b>Figura 2.3</b> Componentes da cobertura verde (Fonte:AZEVEDO (2011)) .....	20
<b>Figura 2.4</b> Aplicação de impermeabilização de tela betuminosa .....	21
<b>Figura 2.5</b> Camadas de drenagem para coberturas intensivas (Fonte: (Zinco, 2011)) .....	22
<b>Figura 2.6</b> Camadas de drenagem para coberturas extensivas (Fonte: (Zinco, 2011)) .....	23
<b>Figura 2.7</b> Camada filtrante de geotêxtil (Fonte: ZINCO (2012)) .....	24
<b>Figura 2.8</b> Plantas do género sedum usadas em coberturas verdes (Fonte:EMORY KNOLL FARMS (2012)) .....	26
<b>Figura 2.9</b> Exemplos de plantas de grande porte usadas em coberturas verdes .....	26
<b>Figura 2.10</b> Técnica da hidrossementeira para a instalação de coberturas verdes (Fonte: (HYDRO-SEEDING, 2012)) .....	27
<b>Figura 2.11</b> Desenho dos Jardins Suspensos (Fonte: (COSTA (2010), por Osmundson, 1999, p.113.) .....	13
<b>Figura 2.12</b> Telhado de casa típica localizada na Noruega .....	13
<b>Figura 2.13</b> Desenho dos <i>Midway Gardens</i> por Frank Lloyd Wright, demolidos em 1923. (Fonte: (COSTA, 2010)) .....	14
<b>Figura 2.14</b> Edifício público <i>Chicago City Hall</i> com cobertura verde (Fonte: CHARLESTON GREEN ROOFS (2012)) .....	36
<b>Figura 2.15</b> Coberturas verdes na cidade de Estugarda (Fonte:(NATIONAL GEOGRAPHIC, 2009)).	37
<b>Figura 2.16</b> Universidade Tecnológica de Nanyang (Fonte:GREENROOFS.COM (2012)) .....	37
<b>Figura 2.17</b> Cobertura verde da fábrica Ford em River Rouge, E.U.A. (Fonte:(GREENROOFS.COM, 2012)) .....	38
<b>Figura 2.18</b> Cobertura verde ETAR Alcântara, Lisboa (Fonte: (ÁGUAS DE PORTUGAL, 2012)).....	38
<b>Figura 3.1</b> Localização da célula de teste – vista aérea .....	46
<b>Figura 3.2</b> Esquema da célula de teste .....	47
<b>Figura 3.3</b> Fachada orientada a Sul .....	49
<b>Figura 3.4</b> Fachada orientada a Norte .....	49
<b>Figura 3.5</b> Cobertura verde instalada .....	51
<b>Figura 3.6</b> Sondas Pt 100 3F .....	52



---

<b>Figura 3.7</b> Sonda de humidade HD 9008 TR: (A) Sonda, (B) Sonda e suporte instalados na célula de teste.....	53
<b>Figura 3.8</b> Sonda de medição de temperatura e humidade interior .....	54
<b>Figura 3.9</b> Piranómetro LP PYRA 03 instalado na célula de teste .....	55
<b>Figura 3.10</b> Anemómetro 3R420020-KIT A .....	56
<b>Figura 3.11</b> Fluxímetro Hukseflux HFP01 .....	57
<b>Figura 3.12</b> Módulos de aquisição de dados Marca ICPDAS.....	57
<b>Figura 3.13</b> Sistema de aquisição de dados em funcionamento .....	58
<b>Figura 3.14</b> Display de funcionamento do <i>software</i> .....	59
<b>Figura 3.15</b> Leituras instantâneas de alguns sensores de temperatura .....	61
<b>Figura 4.1</b> Radiação solar registada na célula de teste .....	65
<b>Figura 4.2</b> Temperatura do ar registada no exterior da célula de teste .....	66
<b>Figura 4.3</b> Humidade relativa do ar registada no exterior da célula de teste.....	66
<b>Figura 4.4</b> Temperaturas registadas no exterior da célula de teste e nas superfícies da cobertura verde e de controlo .....	67
<b>Figura 4.5</b> Temperaturas registadas no compartimento de controlo (TCC) e compartimento de teste (TCT) .....	68
<b>Figura 4.6</b> Temperaturas no interior da célula de teste e radiação solar global medida no exterior da célula de teste .....	69
<b>Figura 4.7</b> Radiação solar na fachada sul para o período de inverno (Fonte: (GONÇALVES e GRAÇA, 2004)) .....	69
<b>Figura 4.8</b> Temperatura exterior e temperaturas interiores no compartimento de teste e compartimento de controlo .....	70
<b>Figura 4.9</b> Fluxos de calor através da cobertura nos dois compartimentos .....	71

---

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> Vantagens e desvantagens dos sistemas de cobertura verde [Fonte: Adaptado de(URBIS, 2007)] .....	19
<b>Tabela 2.2</b> Espécies de plantas utilizadas segundo a tipologia da cobertura.....	27
<b>Tabela 2.3</b> Normas aplicáveis à construção de coberturas verdes.....	35
<b>Tabela 3.1</b> Características das Sondas Pt100 3F .....	52
<b>Tabela 3.2</b> Características da Sonda HD 9008 TR .....	53
<b>Tabela 3.3</b> Características operacionais de sonda de temperatura e humidade interior .....	54
<b>Tabela 3.4</b> Características do Piranómetro LP PYRA 03.....	55
<b>Tabela 3.5</b> Características Anemómetro 3R420020-KIT A.....	56
<b>Tabela 3.6</b> Características do Fluxímetro de calor Hukseflux HFP01.....	57
<b>Tabela 3.7</b> Módulos recetores .....	57
<b>Tabela 4.1</b> Terminologia usada na definição dos parâmetros obtidos e calculados .....	64
<b>Tabela 4.2</b> Dados meteorológicos no exterior da célula para o período de 15 a 20 de novembro de 2012.....	65
<b>Tabela 4.3</b> Temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica da superfície das duas coberturas .....	68
<b>Tabela 4.4</b> Temperaturas máximas e mínimas e amplitudes térmicas do ar interno nos dois compartimentos.....	71

---

## LISTA DE ABREVIATURAS

A - Área ( $\text{m}^2$ )

DIN - Lista de normas publicadas pelo Instituto Alemão para a Normalização

$E_b$  - Energia radiante total de um corpo negro ( $\text{W m}^{-2}$ )

EN - Normas Europeias

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FLL - *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau - Landscape, Research, Development and Construction Society* - Sociedade Alemã de Pesquisa da Paisagem, Desenvolvimento e Construção

$h$  - Coeficiente de transferência de calor ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )

ICP DAS – Industrial Control Products & Data Acquisition Hardware

IGRA – *International Green Roof Association* – Associação Internacional de Coberturas Verdes

$k$  - Condutividade térmica ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )

PVC - Policloreto de Vinila

$Q$  - Calor transferido (W)

$q$  - Fluxo de calor ( $\text{W m}^{-2}$ )

SI - Sistema Internacional

$T$  - Temperatura (K ou °C)

$\Delta T$  - Intervalo de temperatura (K ou °C)

$\Delta t$  - Intervalo de tempo (s)

$\sigma$  - Constante de Stefan-Boltzman ( $= 5,6697 \times 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ )

$\varepsilon$  - Emissividade de um corpo



---

# Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

A crescente atenção dada às questões ambientais e a consequente busca de um desenvolvimento sustentável por parte das sociedades atuais tem acentuado as preocupações relacionadas com os impactos associados à transformação do ambiente natural, em ambiente construído. Este tipo de preocupações surge como consequência da expansão dos grandes centros urbanos que, aumentando em área e em densidade populacional, aumentam a concentração de estruturas construídas e reduzem os seus espaços verdes, provocando uma maior pressão nos recursos naturais existentes, a perda de biodiversidade e a diminuição da qualidade de vida dos seus habitantes.

Alguns dos problemas ambientais derivados da destruição do ambiente natural estão relacionados com a diminuição do coberto vegetal, nomeadamente a construção e pavimentação, que reduzem a área de espaços naturais e contribuem para a impermeabilização do solo. Este fenómeno provoca um aumento no escoamento das águas pluviais devido à diminuição da infiltração que por sua vez tem como consequência o decréscimo significativo na recarga de aquíferos e o aumento da ocorrência de cheias urbanas. Associado ao aumento da quantidade de água introduzida nos sistemas de recolha de águas pluviais, está também a erosão dos próprios canais devido às forças associadas ao movimento da água (JACOBSON, 2011). A velocidade e eficiência do transporte de poluentes também são afetadas, o que contribui para a degradação dos ecossistemas (CARTER e JACKSON, 2007).

Ao aumento da densidade populacional nos centros urbanos e à substituição dos espaços verdes por espaços construídos está associado o aumento das temperaturas. Este fenómeno é denominado efeito de ilha de calor e pode ser descrito como sendo o registo de temperaturas mais elevadas nas zonas urbanas comparativamente às zonas rurais adjacentes. Na origem deste efeito estão fatores como as emissões de calor antropogénicas, nomeadamente o calor gerado pelos transportes e os pelos processos industriais, assim como a energia utilizada para arrefecimento e aquecimento. Outro fator importante está relacionado com as propriedades térmicas dos materiais usados na construção das infraestruturas, que podem influenciar a quantidade de radiação solar absorvida, emitida ou refletida. Há ainda um fator que está associado à geometria da própria cidade, mais concretamente os canais formados pelas ruas e flanqueados pelos edifícios designados de *street canyons*. Estes canais podem apresentar uma

---

boa capacidade de sombreamento nalguns períodos do dia, mas absorvem muita radiação solar quando esta entra em contacto com as suas superfícies, diminuindo assim a refrigeração no período da noite devido ao impedimento que apresentam na libertação do calor. Por último, existe ainda outro fator que contribui para o efeito de ilha de calor, que é provocado pela substituição das áreas verdes por superfícies impermeáveis. As superfícies impermeáveis construídas diminuem a taxa de evapotranspiração e a capacidade de sombreamento que a vegetação conferia e, além disso, dependendo dos materiais, podem diminuir a reflexão da radiação solar (EPA, 2012).

O efeito de ilha de calor pode, por isso, afetar as comunidades que habitam nos centros urbanos ao contribuir para um aumento da procura de energia no Verão provocando um consequente aumento dos custos da climatização. Para responder à maior procura de energia, e sabendo que a grande percentagem da energia é produzida a partir de fontes de combustível fóssil, são emitidos mais gases poluentes, aumentando assim a poluição atmosférica. O aumento da temperatura e da poluição atmosférica e a consequente degradação da qualidade do ar afeta a saúde das populações. A qualidade da água também pode ser prejudicada sobretudo através da poluição térmica. As superfícies com temperaturas superiores às do ar transferem o calor para as águas pluviais, que no fim do curso podem afetar os ecossistemas que as recebem (EPA, 2012).

Nas cidades, as áreas verdes têm como função substituir a natureza nas suas múltiplas funções. Para além da sua importância na remoção de poluentes gasosos e filtração de partículas, estas podem minorar o efeito de ilha de calor através do arrefecimento provocado pela evapotranspiração e sombreamento (DEL BARRIO, 1998). A vegetação urbana pode ainda contribuir para o controle de inundações devido à sua capacidade de absorção e retenção da precipitação, diminuindo a velocidade e caudal do escoamento (OBERNDORFER *et al.*, 2007).

As cidades mais compactas ou cujo planeamento não contemplou as áreas verdes, não conseguem beneficiar das vantagens destes espaços. Uma das soluções para este problema parte do aproveitamento das coberturas dos edifícios, adicionando-lhes vegetação, aumentando assim a área verde urbana, permitindo usufruir de todas as vantagens que lhe estão associadas (SUSCA *et al.*, 2011). A adição de vegetação às coberturas pode minorar alguns problemas provocados pela presença dos edifícios e, sendo a cobertura um dos componentes dos edifícios que apresenta uma maior exposição às condições exteriores, é esta que, coberta com vegetação, permite interceptar e dissipar parte da radiação solar incidente, beneficiando o desempenho térmico da estrutura e diminuindo o consumo de energia gasto na sua climatização.

---

Este tipo de coberturas de edifícios com recurso a vegetação tem a designação de coberturas verdes ou *green roofs* e além dos benefícios referidos atrás, podem acrescentar a uma cidade, valor arquitetónico e biodiversidade, além de diminuir a pegada ecológica das cidades onde estão instaladas com a sua capacidade de conversão do dióxido de carbono em oxigénio, promovida pela fotossíntese (CASTLETON *et al.*, 2010; JAFFAL *et al.*, 2012).

Todos estes benefícios têm incentivado a aplicação deste tipo de coberturas nos edifícios, reduzindo alguns dos impactes associados à sua construção e utilização, tendo em vista, não só a melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes, mas também a preservação do meio ambiente, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável. De uma forma geral, os benefícios ambientais deste tipo de coberturas já são bem conhecidos, no entanto, estes são vistos de uma forma superficial e sobretudo numa perspetiva qualitativa. Os estudos científicos efetuados de uma forma quantitativa que permitam obter dados relativos à performance destas coberturas são ainda escassos (FIORETTI *et al.*, 2010).

## **1.2. Objetivos**

A presente dissertação tem como objetivo o estudo do desempenho térmico de uma cobertura verde instalada num laboratório de teste equipado com uma cobertura verde e um compartimento de controlo que simula uma cobertura tradicional. Com vista à obtenção de resultados o presente estudo abordou os seguintes pontos:

- Análise bibliográfica das coberturas verdes e suas características técnicas;
- Estudo dos parâmetros térmicos característicos das coberturas verdes;
- Instalação de um sistema de instrumentação e respetivo sistema de aquisição de dados;
- Análise dos parâmetros monitorizados em laboratório e comparação do desempenho entre coberturas.

## **1.3. Metodologia**

Com vista ao cumprimento dos objetivos traçados, o presente estudo foi dividido em 3 fases. Na primeira fase do estudo procedeu-se à revisão bibliográfica das características das coberturas verdes e do seu desempenho térmico. Na segunda fase do estudo foi feita uma análise aos parâmetros necessários à caracterização térmica deste tipo de coberturas e instalado um sistema de monitorização num laboratório experimental compartimentado para permitir simular o

---

comportamento térmico de uma cobertura verde (compartimento de teste), face a uma cobertura tradicional (compartimento de controlo). Na terceira e última fase do estudo foram recolhidos e analisados os dados obtidos pelo sistema de monitorização instalado, com o objetivo final da caracterização do desempenho térmico da cobertura verde analisada.

#### **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco partes respeitantes a cinco capítulos. No primeiro capítulo é feito o enquadramento do tema do estudo e incluídos os objetivos propostos e a metodologia necessária para a sua obtenção. No capítulo dois denominado “Coberturas verdes”, é feita a descrição destas coberturas, apresentadas as suas características técnicas e a sua origem histórica. Neste capítulo são também abordados os seus benefícios, com especial foco no tema em estudo, sendo apresentados os estudos de desempenho térmico mais representativos já elaborados.

No terceiro capítulo deste estudo são indicados os materiais e métodos necessários à obtenção de resultados. É feita uma caracterização da célula de teste e dos parâmetros a obter na monitorização e incluída uma descrição técnica dos equipamentos e processos utilizados na obtenção de dados. No capítulo seguinte, capítulo quatro, são apresentados os dados recolhidos considerados mais representativos para o estudo e a partir destes é feita a comparação do desempenho térmico das duas coberturas. O capítulo cinco é reservado para as considerações finais que incluem os comentários aos resultados obtidos e as propostas de melhoria.



---

## Capítulo 2 - COBERTURAS VERDES

### 2.1. Descrição

Designam-se coberturas verdes os sistemas que integram a vegetação na cobertura de edifícios. A palavra “cobertura” em Portugal é muitas vezes substituída por “telhado” e refere-se a qualquer superfície contínua preferencialmente plana, desenhada para proteção dos utilizadores/habitantes dos elementos exteriores, em espaços com as fachadas laterais fechadas ou abertas. A vegetação pode ser instalada abaixo, acima ou ao nível do solo, em plataforma, em níveis intermédios em relação ao solo ou no topo de edifícios. Em qualquer dos casos, a vegetação nunca é instalada no próprio solo. Os sistemas de coberturas verdes atuais são organizados em camadas que permitem fornecer os nutrientes e água necessários à vegetação e salvaguardar a estrutura do edifício isolando-o das condições exteriores mais adversas. Em Portugal, além de coberturas ou telhados verdes, podem ter ainda a designação de coberturas ajardinadas ou ecológicas.

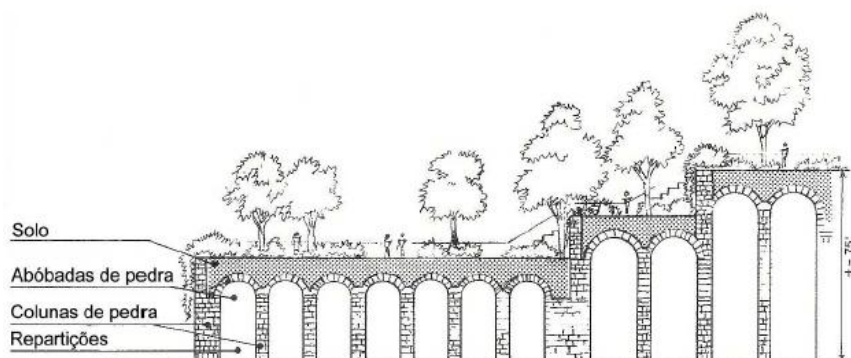
A sua utilização começou por ser feita em meio rural como uma forma económica de proteção das habitações contra as condições exteriores e em meio urbano como opção estética ou como forma de aumentar a área verde. A evolução tecnológica que sofreram nas últimas décadas permitiu tirar partido de outras vantagens da vegetação e atualmente estas coberturas conseguem oferecer vantagens ambientais e energéticas sobretudo quando instaladas em edifícios nos grandes centros urbanos. Isto acontece porque estas podem contribuir para a redução do efeito de ilha de calor urbano, isto é, amenização do aumento das temperaturas nos centros urbanos, para a melhoria da qualidade do ar atmosférico, aumento da biodiversidade e escoamento de águas pluviais.

### 2.2. Evolução

Os registos mais antigos da combinação entre construção de habitações e vegetação, segundo (DUNNET e KINGSBURY, 2004), são os das antigas civilizações habitantes dos vales dos rios Tigre e Eufrates, onde se desenvolveram inicialmente jardins ornamentais nas coberturas. Os mais conhecidos na atualidade são os Jardins Suspensos da Babilónia, uma das sete maravilhas do mundo antigo e os possíveis precursores das coberturas verdes intensivas e dos jardins verticais (PECK *et al.*, 1999). Existem ainda provas históricas que apontam para a presença de coberturas

---

verdes e jardins verticais durante o Império Romano, sobretudo nos edifícios institucionais (PECK *et al.*, 1999).



**Figura 2.1** Desenho dos Jardins Suspensos (Fonte: (COSTA (2010), por Osmundson, 1999, p.113.)

São também encontrados alguns registos históricos de coberturas verdes nos séculos XIII, XIV e XV em várias cidades de França e Itália, sobretudo em palácios e edifícios religiosos onde estas eram implementadas com objetivo de ornamentar. Na Rússia Czarista, os jardins sobre cobertura eram vistos como uma característica de ostentação pela nobreza. No século XVII, foi instalado um jardim sobre a cobertura do palácio Kremlin, em Moscovo (COSTA, 2010).

Nos países da Escandinávia, este tipo de coberturas começaram a ser utilizadas há séculos atrás, sobretudo pelo isolamento térmico que forneciam às habitações durante os invernos rigorosos. As coberturas eram revestidas com solo ao qual era acrescentada vegetação com o intuito de estabilizar a camada de solo (MORAN, 2004).

No Canadá foram encontrados exemplos destas coberturas em Newfoundland e Nova Escócia exportadas em períodos diferentes pelos Vikings e colonos franceses (PECK *et al.*, 1999).

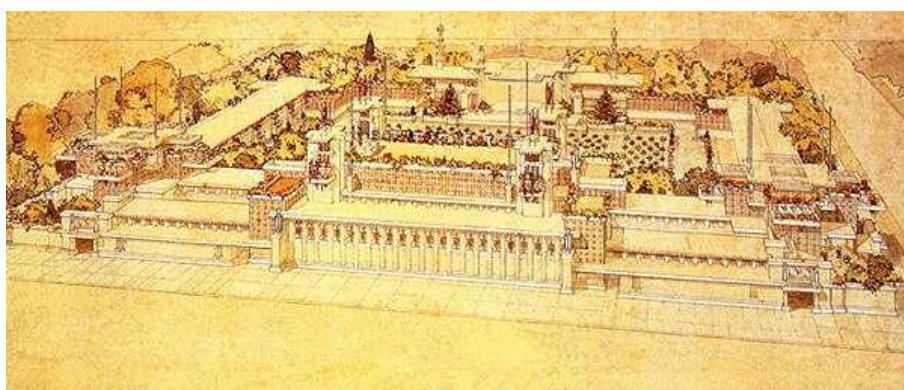


**Figura 2.2** Telhado de casa típica localizada na Noruega

---

No ano de 1867, na exposição mundial de Paris, foi mostrada a primeira construção de betão plana com capacidade para suportar uma cobertura natural. A evolução das técnicas construtivas permitia agora maiores cargas nas estruturas dos edifícios, possibilitando o desenvolvimento e expansão destas coberturas.

Surgiram a partir daí, alguns projetos experimentais, sendo os mais relevantes um conjunto de apartamentos construídos em Paris em 1903 e projetados por Auguste Perret, um restaurante na cidade de Chicago em 1914, desenhado pelo conhecido arquiteto Frank Lloyd Wright e ainda um outro restaurante em Colónia, Alemanha, cujo projeto foi elaborado por Walter Gropius.



**Figura 2.3** Desenho dos *Midway Gardens* por Frank Lloyd Wright, demolidos em 1923. (Fonte: (COSTA, 2010))

Le Corbusier, outro conceituado arquiteto da mesma época, começou a usar as coberturas verdes de uma forma mais sistemática, ao concretizar um largo número de projetos cujos telhados eram preenchidos por jardins acessíveis aos seus habitantes, somando assim a componente estética valorizada anteriormente por Frank Lloyd Wright, a uma componente mais funcional (PECK e KUHN, 2003; HENEINE, 2008). Foram os desenhos destes arquitetos, que constituíram uma das bases em termos de estrutura e *design* para o uso de coberturas ajardinadas.

O desenvolvimento das coberturas extensivas, segundo (CORREA, 2001), apud Rudolf, 1996), surgiu de uma forma casual no início do século XX. Nesta época, na Alemanha, utilizavam-se terraços de cimento e madeira, com a intenção de melhorar a proteção contra o fogo nos edifícios. Estes terraços eram recobertos com uma camada de brita, obtida em lugares próximos dos edifícios. Com o passar do tempo, observou-se que, através do transporte de sementes pelo vento e pelos pássaros, se desenvolviam espécies vegetais espontâneas sobre os terraços sem que tivesse havido nenhum tipo de manutenção. Segundo o autor, esta foi a origem das coberturas extensivas. Mais tarde, nos anos 50 e 60, os alemães verificaram que a vegetação que crescia espontaneamente era sobretudo do género *Sedum* e que esta conseguia estabelecer-se

---

em coberturas com pouco substrato. Através da investigação, viram então nas coberturas extensivas, a possibilidade de ter os benefícios das coberturas intensivas, sem o custo estrutural e de manutenção que estas apresentavam.

Nas décadas de 60 e 70, verificou-se uma evolução significativa nas tecnologias ligadas à construção de coberturas verdes em vários países em especial na Suíça e Alemanha. Em 1977, com a criação da Sociedade Alemã de Pesquisa da Paisagem, Desenvolvimento e Construção, FLL, uma organização alemã ligada à paisagem e construção (FLL, 2002), em conjunto com algumas universidades alemãs, iniciou-se o desenvolvimento da pesquisa ligada aos diferentes componentes destas coberturas, nomeadamente de material anti raiz, membranas impermeáveis, sistemas de drenagem de águas pluviais, substratos e vegetação. (PECK *et al.*, 1999). Foi a partir desta data e através destes estudos que as coberturas começaram a ser vistas com rigor científico e como produto com potencial económico (CORREA, 2001; MORAN, 2004).

Nos anos 80 verificou-se um grande desenvolvimento das coberturas no mercado alemão. Em 1989 estas já cobriam uma área de um milhão de metros quadrados passando para um número dez vezes superior até 1996. Em 2004, 10% dos telhados planos apresentavam coberturas verdes (LIVINGROOFS.ORG, 2004). Todo este crescimento se deveu ao apoio do governo feito através da publicação de leis que permitiam subsidiar em 35 a 40 marcos por metro quadrado de cobertura (PECK *et al.*, 1999).

Atualmente as coberturas ajardinadas são uma área de negócio em franca expansão em vários outros países do mundo, já representada por uma indústria poderosa e organizada. O reconhecimento público das vantagens deste tipo de instalação levou a que muitos governos já tenham implementado sistemas de incentivos para quem adote este tipo de solução construtiva (NEOTURF, 2012) sobretudo pelas suas vantagens ambientais na gestão da água e na diminuição do efeito de ilha de calor.

### **2.3. Tipos**

De acordo com a maioria dos autores, as coberturas verdes podem ser divididas em dois grupos: intensivas e extensivas. Os fatores que as distinguem são sobretudo o custo que cada uma pode envolver na sua instalação e manutenção, o tipo de vegetação e a profundidade da camada do substrato. Nas próximas secções são apresentadas as principais características que as distinguem bem como as vantagens de cada uma.

---

### 2.3.1. COBERTURAS VERDES INTENSIVAS

As coberturas intensivas são desenhadas e instaladas com o objetivo de constituírem uma mais-valia estética para um edifício e em muitos casos para que as pessoas as possam utilizar da mesma forma que utilizam um jardim convencional. Nestas podem ser incorporadas estruturas como passadiços, bancos, jardins de recreio e até lagos. A vegetação é variada podendo incluir relva, plantas perenes, arbustos e árvores (IGRA, 2012; LIVINGROOFS, 2012), organizadas de uma forma visualmente apelativa. A manutenção é feita de uma forma individual e, dependendo das espécies, poderá ser necessária a instalação de sistemas adicionais de drenagem e recolha de água, e sistemas de rega e/ou fertilização. A profundidade do perfil de solo tem que ser suficiente para acomodar as espécies de maior porte. Atualmente, e relativamente às coberturas utilizadas no passado, os substratos mais leves permitem diminuir a carga sobre a estrutura dos edifícios (NEOTURF, 2012). A maioria dos autores refere que espessura do substrato destas coberturas terá de ser superior a 200 mm apresentando algumas diferenças no que respeita à carga que cada uma tem associada. Para as espessuras de substrato referidas (PECK *et al.*, 1999) mostra que estas coberturas podem ter cargas associadas de 290 a 967,7 kg/m<sup>2</sup>. Correa e Gonzalez, 2002 como citado em (ANDRADE, 2007) para os mesmos valores de altura de substrato, apresenta valores de cargas de 700 a 1200 kg/m<sup>2</sup>. A IGRA (*International Green Roof Association*) apresenta valores relativamente a todo o sistema da cobertura e não apenas relativamente ao substrato. Segundo esta fonte, as cargas na estrutura variam de 150 a 500 kg/m<sup>2</sup> para alturas totais que variam entre os 150 e os 400 mm, podendo ultrapassar este valor, dependendo do tipo de espécies a manter e a estrutura em que é instalada. Devido à diversidade que apresentam, coberturas deste tipo favorecem a criação de ecossistemas mais complexos, contribuindo para o aumento da biodiversidade (PECK *et al.*, 1999).



**Figura 2.4** Cobertura verde intensiva (Fonte: ZINCO (2012))

---

### 2.3.2. COBERTURAS VERDES EXTENSIVAS

As coberturas extensivas não têm como finalidade o uso humano regular e nalguns casos nem são visíveis quando instaladas. São geralmente instaladas por apresentarem uma solução ecológica e visualmente mais apelativa relativamente às coberturas planas tradicionais. A vegetação mais utilizada é de pequeno porte e usualmente uniforme, sendo tratada em massa (NEOTURF, 2012). Deve apresentar características que lhe confirmem resistência à seca, aos ventos, às temperaturas extremas e aos elevados índices de radiação o que diminui as suas necessidades de manutenção (MONTEIRO, 2010). No tipo de vegetação a usar, podem ser utilizadas espécies alpinas ou provenientes de climas secos, mas dá-se prioridade às espécies indígenas, sendo os tipos de vegetação mais usados pertencentes às plantas suculentas, musgos, ervas e gramíneas (ZINCO, 2012). Entre estas, o género *Sedum*, é o mais utilizado.

Estas coberturas exercem cargas inferiores nos edifícios relativamente às coberturas intensivas devido ao menor tamanho das plantas e à menor quantidade de substrato que é necessário para as manter. Baseando-se no guia da Sociedade Alemã de Pesquisa da Paisagem, Desenvolvimento e Construção, guia FLL (*Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*), o Manual de Boas Práticas de Construção de Coberturas Verdes para o Reino Unido (GRO, 2011), refere que estas coberturas devem apresentar no mínimo 80 mm de espessura de substrato, excetuando no caso de coberturas com tapetes de vegetação previamente desenvolvida. Nesse caso, a média de espessura pode ser reduzida para 60mm, podendo atingir um mínimo de 20 mm. Já (PECK *et al.*, 1999) refere que a espessura do substrato deve variar de 50 a 150 mm com cargas associadas de 72,6 a 169,4 kg/m<sup>2</sup>. Correa e Gonzalez 2002 como citado em (ANDRADE, 2007) apresenta os valores de espessura de substrato entre 80 e 120 mm com cargas médias na estrutura de 100 kg/m<sup>2</sup>. Segundo (OBERNDORFER *et al.*, 2007), os valores de espessura de substrato, podem variar de 20 a 200 mm com cargas de 70 a 170 kg/m<sup>2</sup>.

As diferenças de valores que os estudos referidos apresentam, estão relacionadas sobretudo com o tipo de condições locais, sendo o clima o fator mais relevante. É este que influencia o tipo de vegetação usado, que por sua vez condiciona a escolha do substrato. Os métodos e materiais utilizados nas coberturas de cada estudo experimental também contribuem para as diferenças apresentadas.

Comparativamente às coberturas intensivas, as extensivas podem ser instaladas com inclinações mais elevadas devido ao menor porte da vegetação. De acordo com (PECK *et al.*, 1999), estas



---

coberturas são as mais indicadas para declives até 30°. De acordo com a IGRA (IGRA, 2012) estas coberturas podem ser prejudicadas quando instaladas em superfícies com declives inferiores a 2°, devido à possibilidade de acumulação de água. Para baixas inclinações, são necessárias modificações ao nível do sistema de drenagem.



**Figura 2.5** Cobertura extensiva do género Sedum (Fonte: (ZINCO, 2012)

Um conceito mais recente tem vindo a ser desenvolvido: coberturas ajardinadas semiextensivas. As características destas coberturas, como o próprio nome indica, encaixam entre o sistema extensivo e intensivo, utilizando perfis de substrato compreendidos entre os 10 e 20 cm (NEOTURF, 2012), permitindo uma maior diversidade de espécies e por isso uma maior variedade de *designs*. É possível, por exemplo, conter espécies de ervas e arbustos de pequeno porte durante a fase de crescimento da vegetação de grande porte (IGRA, 2012). É de notar que, comparativamente às coberturas extensivas, as do tipo semiextensivo, comportam mais custos de manutenção e uma carga superior nos edifícios onde são instaladas.

### **2.3.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Na Tabela 2.1, estão resumidas as principais características das coberturas do tipo intensivo e extensivo e as vantagens e desvantagens que estão associadas ao uso de cada tipo.

**Tabela 2.1** Vantagens e desvantagens dos sistemas de cobertura verde [Fonte: Adaptado de(URBIS, 2007)]

	<b>Cobertura Extensiva</b>	<b>Cobertura Intensiva</b>
<b>Descrição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• necessidade de pouco substrato (baixa profundidade)</li> <li>• pouca ou nenhuma irrigação</li> <li>• baixa manutenção</li> <li>• aplicável a grandes áreas/extensões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• necessidade de muito substrato (maior profundidade)</li> <li>• irrigação</li> <li>• maiores cuidados de manutenção</li> <li>• para maiores benefícios, grande investimento inicial e de manutenção</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• baixo peso</li> <li>• baixa manutenção</li> <li>• apropriado para renovação de coberturas</li> <li>• baixo custo de instalação e manutenção</li> <li>• aplicável a grandes áreas</li> <li>• adequado a coberturas com 0-30° declive</li> <li>• a vegetação pode desenvolver-se espontaneamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• permite maior diversidade de utilizações (recreio, cultivo)</li> <li>• maior diversidade de plantas e habitats</li> <li>• maior capacidade de isolamento e retenção de águas</li> <li>• consegue simular jardim exterior</li> <li>• maiores vantagens estéticas</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• escolha de plantas mais limitada</li> <li>• a maioria não permite acesso a pessoas</li> <li>• pode ser pouco atrativo visualmente em épocas secas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maiores custos (instalação e manutenção)</li> <li>• pouco adequado para projetos de remodelação de coberturas</li> <li>• maiores cargas na estrutura</li> <li>• maior necessidade de água, energia e materiais</li> </ul>

## 2.4. Composição

Como foi referido anteriormente, as coberturas verdes são sistemas constituídos por vários componentes organizados de forma a otimizar o desempenho de todo o conjunto. Para obter o melhor desempenho, a atual tecnologia exige para a produção destas coberturas, conhecimentos em áreas distintas como a biologia vegetal, hidráulica e arquitetura devido à complexidade da sua composição e do seu funcionamento. É, por isso, fundamental, aquando da sua instalação, ter em conta aspetos como a sua carga na estrutura dos edifícios quando saturada, a capacidade de



---

drenagem e retenção de humidade, a capacidade de resistência à penetração das raízes, a sua resistência aos ventos e a viabilidade da vegetação selecionada.

A instalação de coberturas verdes segue uma metodologia de construção comum independentemente do seu tipo. Os seus componentes ou camadas são geralmente semelhantes, podendo apenas variar algumas das suas características técnicas dependendo do tipo de vegetação, declive das coberturas ou desempenho térmico e/ou hidrológico pretendido (ZINCO, 2012). Nos subcapítulos seguintes são apresentadas as principais características de cada componente da cobertura.



**Figura 2.6** Componentes da cobertura verde (Fonte:(ZINCO, 2012))

#### **2.4.1. MEMBRANA IMPERMEABILIZAÇÃO**

A camada que está em contacto com o edifício denomina-se membrana de impermeabilização e a sua função é a de proteção da estrutura contra as infiltrações de água provenientes das camadas superiores.

Os sistemas de impermeabilização podem ser divididos em sistemas tradicionais e sistemas não tradicionais. Em ambos os tipos, a sua aplicação pode ser feita *"in situ"* ou a partir de produtos pré-fabricados aplicados no local. Os sistemas tradicionais aplicados *"in situ"*, deverão ser constituídos por camadas múltiplas de asfalto ou emulsões betuminosas. Nos sistemas tradicionais com produtos pré-fabricados, deverão adotar-se camadas múltiplas de membranas, telas ou feltros betuminosos. Em relação aos sistemas não-tradicionais aplicados *"in situ"*, é recomendado o uso de espumas de poliuretano, camadas múltiplas de resinas acrílicas, resinas poliméricas ou de emulsões de betumes modificados. Para estes sistemas, mas com recurso a

---

produtos pré-fabricados, utilizam-se membranas de betumes modificados, membranas termoplásticas ou elastómeras. Para sistemas aderentes, os produtos de ligação consistem em betume insuflado ou colas especiais.

Sendo a base do sistema de cobertura e o componente que protege o edifício, são necessários cuidados redobrados no momento da aplicação sobretudo com os acabamentos nas zonas das juntas de dilatação e nas ligações das paredes com a cobertura. É também importante o conhecimento aprofundado das características de cada tipo de membrana para uma melhor adequação de cada uma ao desempenho pretendido.



**Figura 2.7** Aplicação de impermeabilização de tela betuminosa

#### **2.4.2. CAMADA DE DRENAGEM**

As coberturas verdes contribuem de forma importante para a gestão das águas superficiais ao absorver a água da chuva e libertando o excesso de forma gradual por escorrência ou por evaporação e transpiração. Este processo só é possível devido ao contributo da camada de drenagem cuja função é exatamente permitir o escoamento da água através da camada de substrato e torna-la acessível à vegetação nos períodos de maior carência. Isto só é possível devido às características que apresenta que permitem que acumule as funções de drenagem com as de retenção da água. Funciona, por isso como um reservatório de água, que atua como dreno quando o substrato atinge o ponto de saturação. Devido às características do material que a compõe, nomeadamente a sua porosidade, esta camada contribui ainda para o arejamento do substrato evitando o seu encharcamento e melhorando as condições de conservação da vegetação.

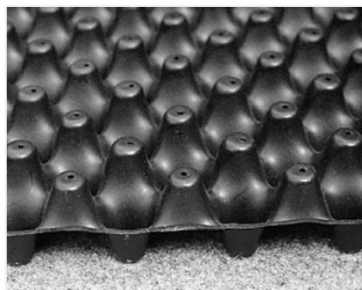
---

A eficiência da camada de drenagem depende essencialmente dos materiais que a constituem e da inclinação da cobertura. FISHBURN (2004), refere que a inclinação mínima exigida para estas coberturas para que o escoamento de água seja eficiente, deve ser de 2%. Para inclinações inferiores a este valor é frequente a colmatação do sistema de drenagem pela acumulação de sedimentos do substrato ao longo dos canais e coletores. Para inclinações superiores a 8% é necessário implementar um sistema de retenção na cobertura para evitar que se deem quebras nas ligações das membranas e do sistema de drenagem e mesmo o enrugamento das camadas (Fishburn, 2004).

Na camada de drenagem podem ser usados 3 tipos de materiais. Os materiais granulados onde estão incluídas a gravilha, seixos, pedras roladas, tijolo partido, argila expandida, brita e outros com características semelhantes. Estes são materiais que apresentam pouca ou nenhuma capacidade de retenção, mas uma boa capacidade de drenagem de água. Nas camadas de drenagem podem ainda ser aplicados materiais porosos cuja origem provém usualmente de uma grande variedade de materiais esponjosos incluindo resíduos de tecidos e outros materiais reutilizados que podem absorver grandes quantidades de água. Devido à grande capacidade de retenção que apresentam e à grande quantidade de água que podem reter, pode haver prejuízo da vegetação e um aumento da carga da estrutura. As camadas de drenagem usadas atualmente são elaboradas com outro tipo de materiais incluindo plásticos como o polietileno ou poliestireno (URBIS, 2007). As características destes materiais permitem uma instalação mais fácil e mais prática apresentando-se normalmente em módulos. O *design* atual destas camadas (v. Figura 2-5 e 2-6) permite otimizar a sua capacidade de retenção e drenagem e pode ser alterado em função do regime pluviométrico do clima em que são aplicadas. No caso das coberturas extensivas, pode, por exemplo, aumentar-se a sua reserva de água aumentando o volume de retenção (NEOTURF, 2012). Nas coberturas intensivas, e dado que a sua manutenção é mais frequente, nomeadamente a rega, privilegia-se a sua capacidade drenante (v. Figura 2-5).



**Figura 2.8** Camadas de drenagem para coberturas intensivas (Fonte: (Zinco, 2011))



**Figura 2.9** Camadas de drenagem para coberturas extensivas (Fonte: (Zinco, 2011))

#### **2.4.3. CAMADA DE PROTEÇÃO ANTI RAIZ**

A função da camada de proteção é prevenir a perfuração da estrutura do edifício pelas raízes das plantas. Desta forma, consegue-se não só aumentar o tempo de vida da estrutura da cobertura mas também evitar infiltrações. Esta proteção pode ser constituída por uma camada colocada sobre a membrana de impermeabilização ou estar incorporada nela. Neste caso a membrana deve conter um aditivo herbicida que iniba o contacto e a perfuração das raízes (CORREA, 2001). De acordo com o guia alemão FLL para a construção de coberturas verdes, se a camada impermeabilizante não apresentar características anti raiz, uma outra camada deve ser instalada para desempenhar essas funções (IGRA, 2012).

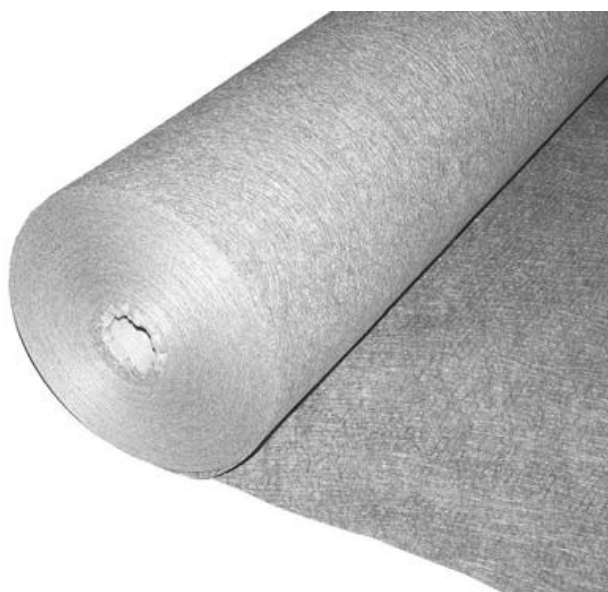
Atualmente, a proteção anti raiz pode ser feita mecanicamente com recurso a membranas compactas ou através da incorporação de produtos químicos anti raiz em membranas betuminosas (LOPES, 2004). Verifica-se que alguns construtores optam por sistemas de membranas de impermeabilização com aditivos anti raiz tornando assim dispensável a tela anti raiz, enquanto outros incluem no sistema uma camada que apresenta características que permitem simultaneamente resistir mecanicamente à perfuração das raízes e acumular estas funções com a capacidade de reter água e nutrientes. São designadas de mantas de retenção e proteção e possibilitam um acréscimo na capacidade de retenção de água à camada drenante. Com as soluções técnicas atuais, é possível a instalação destas camadas de proteção através da aplicação de mantas de materiais leves como as fibras de polietileno, polipropileno, poliéster ou PVC que lhe conferem resistência e também capacidade de retenção.

No caso das coberturas verdes intensivas, para o combate eficaz às raízes de maior dimensão utilizam-se técnicas de confinamento cujo princípio é o de impedir a sua expansão, encaminhando-as para caixas de betão.

---

#### **2.4.4. CAMADA FILTRANTE**

A camada filtrante num sistema de coberturas verdes é instalada entre o substrato e a camada drenante e tem como finalidade a retenção das partículas mais finas e os nutrientes do substrato, evitando a colmatção dos vazios da camada drenante. Para que esta seja eficaz nas suas funções, os materiais que a compõem devem apresentar elevada permeabilidade à água, uma boa resistência à ação mecânica das raízes e neutralidade química e biológica evitando reações com o substrato (LOPES, 2004). Os materiais usados para esta camada são os denominados geotêxteis cuja composição é habitualmente à base de fibras de propileno ou poliésteres.



**Figura 2.10** Camada filtrante de geotêxtil (Fonte: ZINCO (2012))

#### **2.4.5. CAMADA DE SUBSTRATO**

Numa cobertura verde, a camada de substrato é a camada base para o desenvolvimento da vegetação. O tipo e a espessura do substrato determinam o desenvolvimento das plantas e o peso do sistema na estrutura. O cultivo de plantas em substratos artificiais implica que estas terão que desenvolver as suas raízes num volume limitado. Para que isso aconteça, é necessário ter em conta a sua capacidade de retenção de água, a sua relação ar-água e a quantidade e capacidade de retenção de nutrientes, além disso deve apresentar um bom suporte para a vegetação contra a erosão provocada pelo vento e água (CORREA, 2001). Dependendo do tipo de cobertura verde e dos requisitos de construção, existe uma grande variedade de substratos que podem ser aplicados. Os principais critérios para a sua escolha são: tamanho, proporção de material orgânico, resistência de geada, estabilidade estrutural, resistência à erosão pelo vento,

---

permeabilidade à água, capacidade de retenção de água, teor de nutrientes, arejamento e valor de pH (IGRA, 2012). Também é importante que um substrato apresente características que permitam o controlo da presença de ervas daninhas. A composição dos substratos técnicos depende do fabricante, mas usualmente na sua composição estão materiais minerais como argila expandida, pedra-pomes ou tijolo partido e um composto orgânico de terra vegetal ou turfa que fornece os nutrientes necessários à vegetação. A proporção de cada um destes materiais varia consoante o tipo de vegetação a aplicar na cobertura.

Sendo a camada de crescimento a que tem maior espessura numa cobertura verde, é esta que mais contribui para a carga adicional na estrutura do telhado. FISHBURN (2004), afirma que esta camada, no caso das coberturas extensivas, acrescenta a carga de 70 a 170 kg m<sup>-2</sup> enquanto que nas intensivas representa uma carga adicional entre 290 e 970 kg m<sup>-2</sup>.

#### **2.4.6. CAMADA DE VEGETAÇÃO**

Para o estabelecimento de uma dada espécie ou de um conjunto de espécies vegetais numa cobertura ecológica é fundamental ter em conta as condições locais. Fatores como a poluição atmosférica, variações de temperatura, condições de luz e humidade locais, as velocidades do vento e a radiação solar condicionam fortemente a vegetação, podendo aumentar consideravelmente o risco de desidratação e provocar danos na vegetação e no substrato de uma cobertura verde. Assim, de forma a resistir às adversidades impostas pelas condições exteriores, são necessários alguns cuidados na seleção de plantas e no seu cultivo. Antes da instalação, é importante ainda acrescentar ao estudo das condições locais, a análise dos microclimas do telhado, que, afetados pela inclinação e orientação do mesmo, podem influenciar a exposição ao sol e o conteúdo em humidade, fatores que condicionam o crescimento das plantas.

Em relação ao tipo de vegetação, a escolha recai naquela que apresenta melhor capacidade de adaptação aos fatores já mencionados. No caso das coberturas extensivas, dá-se preferência a vegetação nativa perene, de pequeno porte, poucas necessidades de manutenção e boa capacidade regenerativa. Para que esta apresente um bom desenvolvimento deve ter uma boa capacidade de crescimento horizontal para que se expanda a toda a área de cobertura e também pouca profundidade das raízes adaptáveis às baixas espessuras de substrato.

Na seleção das espécies há alguns aspetos que são tomados em consideração. Antes das escolhas estéticas é necessário ter em conta o tipo de cobertura, extensiva ou intensiva, a sua finalidade, para uso humano ou não, e a espessura do seu substrato. Dependendo destes fatores, a escolha

---

recai habitualmente nas plantas que melhor se adaptem, sendo as autóctones a prioridade de escolha. Dependendo do objetivo pretendido, podem ser selecionadas plantas aromáticas, suculentas, flores selvagens ou plantas de cobertura.

As espécies do género *Sedum* pertencem às plantas suculentas e de cobertura são atualmente as mais utilizadas nas coberturas extensivas. Sendo espécies Alpinas, apresentam uma boa capacidade para suportar grandes variações de temperatura, climas secos, solos pobres, ventos fortes e grande exposição a sol intenso. Além disso, as suas características permitem-lhes armazenar água nas suas folhas, tornando-as bastante resistentes a condições de seca. Como forma de aumentar a biodiversidade e a viabilidade da cobertura é comum combinar-se algumas variedades deste género na mesma instalação (LANDLAB, 2012).

No caso das coberturas intensivas, as espécies usadas são mais variadas dependendo do objetivo da cobertura. Para estes casos não são necessárias espécies tão resistentes dado que a sua manutenção é mais frequente e a maioria das coberturas incorpora sistemas de rega. A vegetação usada aqui apresenta, na maioria dos casos, um maior porte, podendo incluir arbustos e árvores.



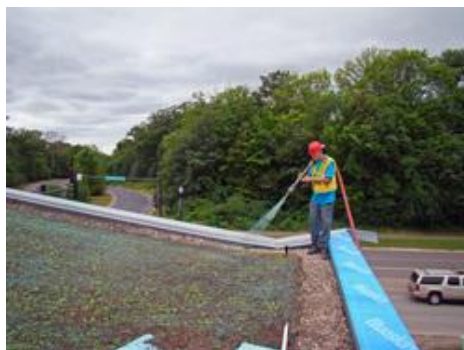
**Figura 2.11** Plantas do género *sedum* usadas em coberturas verdes (Fonte: EMORY KNOLL FARMS (2012))



**Figura 2.12** Exemplos de plantas de grande porte usadas em coberturas verdes



O método de implementação de espécies de plantas vai depender da forma de cultivo e pode ser feito de várias formas. No caso das coberturas extensivas, é comum nos países da Europa a aplicação de tapetes com vegetação pré cultivada. Pode ainda ser implementada no próprio substrato da cobertura com aplicação de sementes ou pela técnica de hidrossementeira através do espalhamento de sementes e substrato, sendo esta última mais utilizada para locais com inclinações pronunciadas ou de difícil acesso.



**Figura 2.13** Técnica da hidrossementeira para a instalação de coberturas verdes (Fonte: (HYDRO-SEEDING, 2012))

**Tabela 2.2** Espécies de plantas utilizadas segundo a tipologia da cobertura

Tipologia da Cobertura	Nome Botânico	Nome Comum
<b>Intensiva</b>	<i>Allium roseum</i>	Alho-rosado
	<i>Allium sphaerocephalon</i>	Alho-bravo
	<i>Anthemis tinctoria</i>	
	<i>Arbustus unedo</i>	Medronheiro
	<i>Armeria humilis</i>	Arméria
	<i>Betula celtiberica</i>	Vidoeiro
	<i>Buxus sempervirens</i>	Buxeira ou Buxo
	<i>Centranthus ruber</i>	Alfinetes
	<i>Chaenomeles japónica</i>	Marmeleiro do japon
	<i>Cordyline australis</i>	Fiteira
	<i>Crambe hispânica</i>	Couve-bastarda
	<i>Cytisus</i>	Giesta
	<i>Helianthemum nummularium</i>	Alecrim-das-paredes
	<i>Juniperus thurifera</i>	Sabina-turfeira
	<i>Kerria japonica</i>	Roseira do japon
	<i>Picea pungens</i>	Píce-a-azul
	<i>Pinus mugo</i>	Pinheiro-anão
	<i>Pittosporum</i>	Pitosporo
	<i>Prunus laurocerasus</i>	Loureiro-real
	<i>Prunus lusitânica</i>	Loureiro-de-Portugal
	<i>Yucca gloriosa</i>	Palmeira lírio



**Tabela 2.2** Espécies de plantas utilizadas segundo a tipologia da cobertura (contin.)

Tipologia da Cobertura	Nome Botânico	Nome Comum
Extensiva	<i>Allium schoenoprasum</i>	Cebola-galega
	<i>Armeria humilis</i>	Arméria
	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim
	<i>Saxifraga granulata</i>	Mosquinos
	<i>Sedum acre</i>	Erva-de-cão
	<i>Sedum album</i>	Arroz-dos-telhados
	<i>Sedum ellacombianum</i>	
	<i>Sedum hybridum</i>	
	<i>Sedum kamtschaticum</i>	
	<i>Sedum reflexum</i>	
	<i>Sedum rupestre 'Angelina'</i>	
	<i>Sedum sexangulare</i>	
	<i>Sedum spurium</i>	
	<i>Sedum ternatum</i>	
	<i>Sedum middendorffianum</i>	
	<i>Sedum reflexum</i>	
	<i>Talinum paniculatum</i>	Beldroega-miúda
	<i>Thymus vulgaris</i>	Tomilho

## 2.5. Manutenção

Para qualquer tipo de cobertura verde, por mais pequenas que sejam as suas necessidades de manutenção, há cuidados a tomar após a sua instalação. Devido ao facto da maioria das camadas do sistema se encontrar sob a camada de vegetação e de difícil acesso, a integridade do sistema é assegurada através da inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem, verificação da impermeabilização do edifício e sua reparação se necessário. FISHBURN (2004) refere que são recomendadas inspeções de manutenção na primavera e fim do outono assim como numa data próxima do limite da garantia fornecida pelo construtor. Estas datas são usualmente definidas pelos responsáveis pelo projeto.

As diferenças na manutenção apresentam-se sobretudo para as camadas superiores do sistema, isto é, entre coberturas do tipo extensivo e intensivo. Segundo (ZINCO, 2012), para as primeiras há um conjunto de medidas que podem ser tomadas para a preservação e manutenção da vegetação nas melhores condições. São elas:

- Limpeza do perímetro da cobertura e do sistema de drenagem;
- Remoção das plantas infestantes;

- 
- Corte e aparo das coberturas relvadas para evitar a formação de musgos;
  - Plantio adicional caso existam zonas sem vegetação;
  - Rega inicial e em condições de seca com frequência dependendo das recomendações do fabricante;

Nas coberturas intensivas, a manutenção vai depender do tipo de substrato e vegetação utilizados, no entanto, é aconselhada uma inspeção com a periodicidade de seis meses para a verificação do entupimento dos sistemas de drenagem por detritos e o estado do sistema de impermeabilização. É também importante verificar o estado de crescimento das raízes já que estas podem afetar estes dois sistemas. É aconselhado que, como no caso das coberturas intensivas, seja feito um acompanhamento por parte do instalador a partir do momento em que a vegetação se estabelece na cobertura.

## **2.6. Benefícios da Aplicação de Coberturas Verdes**

Atualmente, com a necessidade de proteção do meio ambiente e da recuperação dos impactes negativos das infraestruturas construídas pelo homem, têm vindo a ser valorizadas as formas de construção sustentáveis. A utilização das coberturas verdes, como forma de construção sustentável tem vindo a ser valorizada, devido aos benefícios que apresenta perante o uso de coberturas tradicionais. Estes benefícios podem ser considerados particulares quando trazem vantagens apenas a uma escala local como um edifício, ou a uma escala mais alargada como a totalidade de uma cidade.

### **2.6.1. BIODIVERSIDADE**

Com o avanço na urbanização, aumentam a quantidade de estruturas artificiais incompatíveis com a preservação das espécies que outrora ocorriam espontaneamente. As coberturas verdes, embora não sendo um substituto perfeito da natureza, podem tornar-se um local de relevante riqueza biológica. Dependendo do tipo, as coberturas podem contribuir para a fixação de algumas espécies, fornecendo condições para a formação de habitats de insetos, invertebrados e plantas e constituir locais de nidificação de pássaros, contribuindo para o aumento da biodiversidade da área onde estão instaladas (NEOTURF, 2012).

---

### **2.6.2. GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

O aumento das áreas impermeáveis nas cidades resulta numa sobrecarga dos sistemas de recolha de águas pluviais e no consequente prejuízo nas linhas de água adjacentes devido ao arrastamento de poluentes. Uma das formas de amenizar este problema é criando superfícies permeáveis que permitam atrasar o escoamento das águas da chuva. Neste aspeto, as coberturas verdes podem representar uma das soluções provocando um atraso no escoamento da água e a sua libertação gradual devido à absorção pelas camadas da cobertura e pelo seu uso por parte da vegetação. LIU (2003), através de um estudo na cidade de Toronto, Canadá, concluiu que, dependendo da quantidade de chuva, da espessura da cobertura e da humidade já existente nas suas camadas, esta pode atrasar o escoamento de água e reduzir o caudal de escoamento. CARTER e JACKSON (2007), num estudo elaborado nos Estados Unidos concluíram que esta pode ser uma boa solução para a gestão de águas pluviais nas grandes cidades. Em Toronto, um estudo de PECK *et al.* (1999) permitiu concluir que uma cobertura com uma espessura de vegetação de cerca de 7 cm não produziu qualquer escoamento durante 3 meses de medições com uma queda de chuva de 4 mm, contra um escoamento de 48% para uma cobertura de solo e 68% para uma cobertura de gravilha.

### **2.6.3. PROLONGAMENTO DO TEMPO DE DURAÇÃO DA COBERTURA**

Uma cobertura verde pode contribuir para o aumento do tempo de vida das membranas de impermeabilização da cobertura. Vários autores referem que isto se deve à sua capacidade para atenuar as variações e os picos de temperatura, reduzir a incidência de raios UV provenientes da radiação solar e limitar o contacto com a humidade exterior (CORREA, 2001). Fornecem ainda proteção mecânica contra os danos provocados pela utilização recreativa ou de manutenção (PECK e KUHN, 2003). O exemplo referido pelo estudo de PECK *et al.* (1999) é o de uma cobertura verde que cobria uma membrana de impermeabilização que, 50 anos após a sua instalação ainda se encontrava em perfeitas condições, numa cidade cujo clima só permite uma duração média de coberturas planas entre 15 a 20 anos.

### **2.6.4. PROTEÇÃO CONTRA RUÍDO**

Alguns estudos referem que as coberturas verdes podem funcionar como bom isolante do som exterior. A vegetação e a camada de ar entre esta e o substrato e o próprio substrato podem bloquear determinadas frequências. Segundo (PECK e KUHN, 2003), o substrato tende a bloquear

---

frequências mais baixas enquanto a vegetação permite bloquear as frequências mais elevadas. Segundo Minke (1982) citado por PECK *et al.* (1999), para uma cobertura com 12 cm de espessura a redução de som é na ordem dos 40 dB, podendo atingir reduções até 50 dB em coberturas com 20 cm de espessura.

#### **2.6.5. PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS**

Com o uso das técnicas construtivas adequadas, e como referem a maioria dos construtores, as coberturas verdes podem constituir uma barreira na propagação de incêndios entre edifícios e do edifício para o telhado. Sobretudo quando estas apresentam valores elevados de humidade no substrato. Para coberturas com vegetação com propriedades combustíveis, é recomendado o uso de barreiras contra fogo no perímetro da cobertura e em intervalos regulares elaboradas a partir de materiais não combustíveis como a gravilha ou o mosaico (PECK e KUHN, 2003). Além deste tipo de solução construtiva, é possível o uso de vegetação suculenta, que devido ao seu grande conteúdo de água, podem retardar a propagação de incêndio (NEOTURF, 2012). Este contributo pode ainda ser maior, se o sistema de irrigação da cobertura, caso exista, se encontrar em comunicação com os alarmes de incêndio.

#### **2.6.6. QUALIDADE DO AR URBANO**

A vegetação tem a capacidade de filtrar material particulado e absorver alguns gases poluentes. As partículas retidas são arrastadas pela água da chuva enquanto os gases são absorvidos pelas plantas tornando-se parte dos tecidos. Através destes processos, as coberturas verdes podem constituir uma boa ferramenta para a mitigação da poluição urbana. PECK e KUHN (2003) referem que a vegetação presente numa cobertura consegue remover cerca de 0,2 kg de material particulado por metro quadrado ao qual pode ser somada a capacidade de redução em 37% de dióxido de enxofre e em 21% de ácido nítrico no ar sobre as coberturas comparativamente a outros locais sem estas coberturas YOK TAN e SIA (2005) citado por GETTER e ROWE (2006). As coberturas podem ainda ter um papel importante na remoção de metais pesados como indica o estudo de PECK *et al.* (1999). Estes autores concluíram que cobertura verde consegue uma percentagem de remoção de zinco de cerca de 16%, apresentando valores mais elevados para a remoção de cádmio, cobre e chumbo cujos valores de remoção podem atingir os 95%.

---

#### **2.6.7. REDUÇÃO DO EFEITO DE ILHA DE CALOR URBANO**

O efeito de ilha de calor urbano, como referido anteriormente, é caracterizado pelo aumento das temperaturas registadas nos centros urbanos quando comparadas com as zonas rurais adjacentes. As coberturas verdes podem ser aplicadas, não como substituto da natureza, mas como meio de replicar alguns mecanismos da vegetação que permitem contribuir para a refrigeração do ar como a retenção de humidade, o sombreamento e a evapotranspiração.

A fim de quantificar a redução do efeito de ilha de calor urbano, BASS *et al.* (2003), com o auxílio de um modelo matemático e considerando que 50% dos edifícios da baixa da cidade tinham o sistema de cobertura verde implementado, verificou um decréscimo de 0,5°C na temperatura média da cidade, que atingiu diminuições de 2 °C quando associou a este estudo a possibilidade de rega nos sistemas de cobertura de verde (NEOTURF, 2012).

#### **2.6.8. BENEFÍCIOS ESTÉTICOS E AUMENTO DO ESPAÇO ÚTIL**

Aliado aos benefícios estéticos que podem proporcionar, melhorando a paisagem urbana, as coberturas verdes podem tornar-se espaços de lazer e recreio onde os espaços verdes escasseiam. Sendo o seu acesso habitualmente limitado, podem proporcionar privacidade e segurança melhorando a sensação de conforto dos utilizadores. Dependendo das suas características, estas coberturas podem ser utilizadas para a produção de hortícolas a nível local, reduzindo os custos e a poluição associados ao seu transporte (NEOTURF, 2012).

#### **2.6.9. ISOLAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Grande parte dos estudos já efetuados na área das coberturas verdes está relacionada com a sua capacidade de isolamento térmico e a consequente melhoria na eficiência energética dos edifícios. LIU (2002), num estudo efetuado em Ontário, Canada, concluiu que a cobertura verde utilizada no seu estudo conseguiu reduzir as necessidades de energia utilizada para arrefecimento em cerca de 75%. DEL BARRIO (1998) refere que uma cobertura verde não tem a capacidade de arrefecer um edifício, em vez disso, atua como um bom isolante no verão, reduzindo o fluxo de calor através da cobertura, comparativamente a uma cobertura tradicional.

Segundo PECK *et al.* (1999) com a utilização de uma cobertura verde, é possível alcançar temperaturas na ordem dos 25 ou 30 °C, ao nível da estrutura do telhado, e no interior do edifício 3 ou 4 °C abaixo destes valores. Este fato pode revelar-se importante nos consumos energéticos de edifícios de regiões com climas onde o ar condicionado é indispensável para a manutenção de

---

condições interiores. Desta forma, por cada 0,5 °C que se reduza na temperatura interior de um edifício é possível diminuir em 8% o consumo energético para o arrefecimento do espaço (NEOTURF, 2012). Nas regiões mais frias também se verifica uma diminuição do consumo energético responsável pelo aquecimento.

## **2.7. Limitações**

Apesar dos inúmeros benefícios, o uso das coberturas verdes ainda apresenta algumas limitações, nomeadamente de ordem económica ou ambiental, mas sobretudo técnica. A falta de informação ou a escassez de estudos prévios pode provocar erros de dimensionamento na sua construção. Entre os erros mais comuns estão a sobrecarga nas estruturas devido ao uso de materiais inadequados no sistema de cobertura ou o mau dimensionamento dos sistemas de drenagem. A falta de conhecimento da capacidade de carga da estrutura aliado a estes factos pode provocar o colapso das estruturas onde são instaladas.

A má escolha de componentes como o substrato ou a vegetação a utilizar, pode também provocar falhas no funcionamento do sistema, influenciando a eficiência de drenagem e as cargas no edifício. Outro componente importante na montagem de um sistema de cobertura verde é a membrana de impermeabilização, já que este sistema acumula mais água que uma cobertura tradicional, e por isso este componente não pode apresentar falhas correndo o risco de provocar infiltrações no edifício.

Outra das limitações das coberturas verdes está relacionada com a inclinação. Para fracas inclinações pode ocorrer a colmatação dos canais de drenagem, formando-se zonas de acumulação de água que prejudicam os componentes do sistema da cobertura verde e constituem cargas adicionais elevadas na estrutura do edifício. Para maiores inclinações é necessário cuidados adicionais para retenção da estrutura do sistema com o objetivo de evitar a quebra ou enrugamento das camadas. Este reforço implica mais custos no projeto e cargas adicionais à estrutura do edifício.

Para que não haja prejuízo da estrutura onde é instalada, estas coberturas devem ser dimensionadas de acordo com as características do edifício e ser alvo de manutenção regular para evitar danos maiores na estrutura.

---

## 2.8. Legislação aplicável

Devido à escassa utilização de coberturas verdes em Portugal, a sua construção e utilização ainda não é abrangida pela lei. No entanto, o governo português, com a aposta na promoção da eficiência energética, através da estratégia nacional para a energia 2020, presente na Resolução do Conselho de Ministros n.º 29 de 2010, tem previsto alterações na política de habitação com a aplicação de medidas que reforcem as preocupações com a construção sustentável, para a melhoria do conforto térmico das habitações. A elevada utilização de coberturas verdes noutros países, tem destacado as características técnicas destas coberturas nesta área, podendo a sua utilização constituir mais uma ferramenta para a consecução dos objetivos propostos. Assim, e a partir da experiência adquirida noutros países, há que considerar a possibilidade da criação de legislação e de um sistema de incentivos financeiros, para que, a nível nacional, esta possa constituir uma solução construtiva regulamentada, contribuindo para a promoção da sustentabilidade nos projetos de construção.

A nível internacional surgiram as primeiras orientações para a construção de coberturas verdes em 1982, na Alemanha, com um guia elaborado pela Sociedade Alemã de Pesquisa da Paisagem, Desenvolvimento e Construção (FLL, 2002), tendo este vindo a ser reformulado desde 1992, culminando num guia denominado “FLL – *Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites*”, que contempla orientações para o planeamento, construção e manutenção destas coberturas. Este documento é hoje um guia referência na área das coberturas verdes para toda a União Europeia, servindo de apoio para o desenvolvimento dos regulamentos de cada país (ALUMASC, 2007). Atualmente na Alemanha, reconhecida líder mundial na tecnologia dos telhados verdes, verifica-se que 43% das cidades apresentam incentivos à construção das coberturas (NEOTURF, 2012). Tal como neste país, existem atualmente outros que já apresentam legislação que contempla as coberturas verdes com cidades que apoiam e incentivam os projetos e construção destas coberturas, oferecendo, em alguns casos, financiamento estatal ou redução de impostos. Isto acontece na maioria das grandes cidades de países como a Suíça, Alemanha, Reino Unido e Dinamarca. A capital deste último já apresenta legislação que torna obrigatória a instalação destas coberturas em novos projetos com inclinações dos telhados inferiores a 30º. O mesmo acontece na maior cidade do Canadá, Toronto, onde também já é obrigatório por lei a instalação destas coberturas e onde são impostas as regras técnicas para a sua construção. Nas maiores cidades da América do Norte estão já a ser criados programas de incentivos e já existem organizações, comissões e governos estatais que contemplam esta temática nos seus programas.

Na Ásia, os casos mais conhecidos são os de Hong Kong, onde o governo já elaborou estudos respeitantes a este tipo coberturas e criou um guia técnico de recomendações de *design* e construção. Assim como Singapura onde foram já apresentados programas de financiamento, e Tóquio, Japão, onde foi já criado um plano municipal com linhas de orientação técnica para a construção de coberturas verdes com o intuito específico de reduzir o efeito de ilha de calor da cidade.

## 2.9. Normalização

As orientações para o planeamento, construção e manutenção de coberturas verdes estão incluídas no já referido guia FLL (FLL, 2002), que é atualmente o guia de referência para a União Europeia e uma base normativa importante em muitos outros países do mundo onde este tipo de coberturas está a ser implementado. Às orientações presentes neste guia estão associadas normas europeias (EN) e alemãs (DIN) em conjunto com ensaios realizados com coberturas verdes, que podem servir de base para novos testes de desempenho ou mesmo de viabilidade em novos projetos. As normas mais importantes presentes neste guia podem ser resumidas pela Tabela 2.3.

**Tabela 2.3** Normas aplicáveis à construção de coberturas verdes

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
DIN 1055	Cargas sobre a estrutura
DIN 1986	Propriedades e instalação de sistemas de drenagem para edifícios
DIN 1988	Normas técnicas de instalações para água potável
DIN 4095	Drenagem para a proteção da construção: planeamento, determinação de requisitos e execução
DIN 4102	Comportamento de materiais de construção e componentes sob a ação de fogo
DIN 4108	Isolamento térmico em edifícios
DIN 4109	Isolamento acústico em edifícios
DIN 18195	Impermeabilização de edifícios
DIN 18531	Impermeabilização de coberturas de edifícios
DIN 18915	Tecnologia da vegetação: base
DIN 18916	Tecnologia da vegetação: plantas e trabalho com plantas
DIN 18919	Tecnologia da vegetação: cuidados com áreas verdes durante o crescimento e a sua manutenção
DIN 19917	Tecnologia da vegetação: relvados e sementeira
DIN EN 12056	Instalação de sistemas de drenagem em edifícios

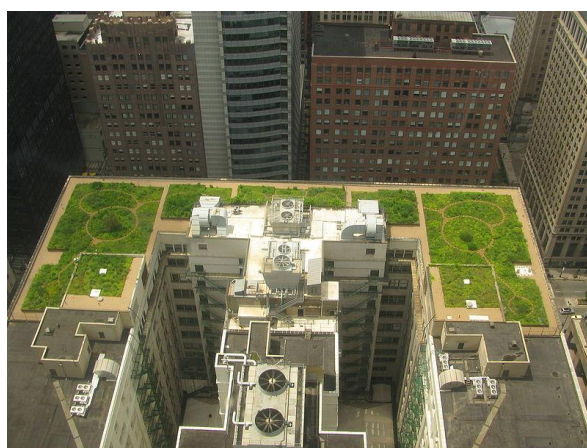


---

Dado que não existe um conjunto de normas nem diretrizes específicas para as coberturas verdes estas normas podem servir como uma importante ferramenta para projetistas e construtores. No entanto, é necessário fazer as necessárias adaptações tomando em conta os materiais usados e as especificidades de cada cobertura.

## 2.10. Exemplos de Coberturas Verdes

Devido ao seu provado contributo para a sustentabilidade de uma cidade e para a sua melhoria estética, a tecnologia das coberturas verdes tem vindo a sofrer uma franca expansão em todo o mundo. De diferentes características e com diferentes finalidades, algumas cidades têm apostado nestes sistemas de coberturas com o objetivo da melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes. Na Figura 2.14 está presente a cobertura verde do edifício *Chicago City Hall*, instalada com o intuito de suavizar a paisagem de betão e ferro característica desta cidade e baixar as temperaturas do edifício no verão.



**Figura 2.14** Edifício público *Chicago City Hall* com cobertura verde (Fonte: CHARLESTON GREEN ROOFS (2012))

Na Alemanha, país pioneiro na tecnologia de coberturas verdes, os regulamentos municipais da cidade de Estugarda, obrigam a instalar estas coberturas em todos novos edifícios com coberturas planas desde o ano de 1989 (v. Figura 2.15).



**Figura 2.15** Coberturas verdes na cidade de Estugarda (Fonte:(NATIONAL GEOGRAPHIC, 2009))

A Escola de Arte, Design e Media da Universidade Tecnológica de *Nanyang* (v. Figura 2.15), em Singapura, é um outro exemplo de mais um edifício com cobertura verde que prima pelo seu valor arquitetónico. Somado a isso, todo o edifício foi projetado de forma a este ser capaz de melhorar a captação dos raios solares e aumentar a economia de energia e através da cobertura verde manter a temperatura ambiente no interior do edifício.



**Figura 2.16** Universidade Tecnológica de Nanyang (Fonte:GREENROOFS.COM (2012))

Outro exemplo emblemático de uma cobertura verde é a fábrica da Ford no Michigan (v. Figura 2.16.), Estados Unidos da América, considerada a maior cobertura verde do mundo com 10,4 hectares. A cobertura verde desta fábrica, veio substituir as antigas coberturas do complexo industrial, promovendo a biodiversidade, as boas condições de isolamento e contribuindo para a gestão das águas pluviais.



**Figura 2.17** Cobertura verde da fábrica Ford em River Rouge, E.U.A. (Fonte:(GREENROOFS.COM, 2012))

Em Portugal, alguns exemplos emblemáticos de aplicação destas coberturas são os da Fundação Calouste Gulbenkian ou o do Jardim das Oliveiras no Centro Cultural de Belém. Mais recentemente e acompanhando a evolução destas coberturas no nosso país, pode-se encontrar uma cobertura verde nas instalações da ETAR de Alcântara (v. Figura 2.18).



**Figura 2.18** Cobertura verde ETAR Alcântara, Lisboa (Fonte: (ÁGUAS DE PORTUGAL, 2012))

## 2.11. Desempenho Térmico

Atualmente, os estudos que mais se valorizam estão relacionados com o desempenho térmico das coberturas com o objetivo de obter benefícios energéticos com a sua utilização. Dado que estes sistemas diferem dos convencionais devido à presença de solo, plantas e água, é necessário compreender os seus mecanismos de armazenamento e troca de calor. Estas trocas podem ocorrer sob várias formas.

---

### 2.11.1. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Um dos mecanismos de transferência de calor presente numa cobertura verde é o mecanismo de condução. Este processo consiste na transferência de calor de uma zona onde a temperatura é mais elevada para uma zona que apresenta uma temperatura mais baixa. A lei empírica da condução de calor é denominada por *Lei de Fourier* e estabelece que a taxa de calor por condução é proporcional à área normal à direção do fluxo e ao gradiente de temperatura na mesma direção ( $x$ ), de acordo com a Equação 2.1:

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

sendo  $Q_x$  a taxa de calor através da área  $A$  no sentido  $x$ , e a constante  $k$  a condutividade térmica do material (INCROPERA e WITT, 1990).

Este tipo de transferência de calor acontece em materiais sólidos onde a taxa de transferência de calor depende da condutividade térmica do próprio material. Como verificado pela *Lei de Fourier*, quanto maior a condutividade térmica, maior a taxa de transferência de calor através do material. Uma cobertura verde pode, por isso, diminuir a transferência de calor por condução, através do uso de substâncias com baixa condutividade térmica como o solo e a água (WARK, 2011).

A convecção é outro dos processos de transferência de calor que acontece entre um fluido e um sólido a diferentes temperaturas quando o escoamento do fluido se faz em contacto com a superfície do sólido. Assim, por definição, o fluxo de calor entre uma superfície quente e um fluido frio, que se movimenta sobre essa mesma superfície é dado pela Equação 2.2:

$$q = h (T_w - T_f) \quad (2.2)$$

sendo  $h$  o coeficiente de transferência de calor em  $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$ ,  $q$  o fluxo de calor do fluido, e  $T_w$  e  $T_f$  as temperaturas da parede e do fluido respetivamente (INCROPERA e WITT, 1990).

No caso das coberturas verdes, este mecanismo acontece devido à presença de água e o seu movimento ao longo das camadas e através do efeito do vento em contacto com a cobertura.

A radiação é um processo de transferência de calor que resulta da propagação de ondas eletromagnéticas na gama de comprimentos de onda de 100 a 100.000nm. Enquanto a transferência de calor por condução e convecção requerem um meio material, isso não acontece

---

na transferência de calor por radiação, cuja transferência é mais eficiente no vácuo. A radiação é emitida quando se forma no interior do corpo e absorvida quando diminui em contacto com um corpo. A energia radiante que um corpo emite pode ser calculada através da aplicação de um fator de emissão ( $\varepsilon$ ) à Lei de *Stefan-Boltzman* dada pela Equação 2.3:

$$E_b = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.3)$$

em que  $T$  representa a temperatura absoluta, em kelvin,  $\sigma$  a *constante de Stefan-Boltzman* ( $= 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $\varepsilon$  a emissividade, cujos valores estão compreendidos entre 0 e 1 (INCROPERA e WITT, 1990).

De acordo com (JIM e HE, 2010) os três modos de transferência de calor são alterados pelas características térmicas e propriedades dos componentes das coberturas verdes, tais como os processos metabólicos das plantas e evapotranspiração.

A evaporação e evapotranspiração são dois outros processos que influenciam as trocas de calor numa cobertura verde. A evaporação diz respeito à mudança de fase da água presente na cobertura, de líquido para vapor, necessitando para isso de energia, que retira sob a forma de calor. O caso da evapotranspiração é exclusivo da camada de vegetação, que alia o processo de evaporação da água na superfície da vegetação e solo com o processo de transpiração em que a água captada pelas raízes das plantas para as suas funções metabólicas entra em contacto com a atmosfera através dos estomas, órgãos presentes nas folhas das plantas, responsáveis pelas suas trocas gasosas.

A diferença entre os telhados vegetados e os telhados sem vegetação é qualitativa e quantitativa. O processo de transferência de calor é totalmente diferente. A radiação solar, a temperatura externa e a humidade relativa apresentam valores mais baixos assim que passam a camada da vegetação que tapa a cobertura. As plantas, para as suas funções biológicas como a fotossíntese, transpiração e evaporação, absorvem uma quantidade significativa de radiação solar. A radiação solar restante alterada em termos de carga térmica, influencia o clima interno à medida que passa através da vegetação e dos elementos do telhado (NIACHOU *et al.*, 2001).

---

Uma cobertura vegetal funciona então como um sistema que, além de conter a folhagem que sobreposta se sombreia mutuamente, tem a capacidade de intercetar e utilizar a radiação solar incidente à medida que esta penetra em profundidade (ANDRADE, 2007).

Em relação ao solo sob a vegetação, a sua condutividade térmica depende da sua estrutura, da sua quantidade de água e de ar. Um solo pouco compacto tem uma maior proporção de ar, que apresenta uma baixa condutividade térmica e por isso transmite menos calor às camadas inferiores, já um solo compacto com menor conteúdo de ar, conduz mais facilmente o calor a camadas mais interiores. Durante o dia absorve o calor da radiação solar e de noite o fluxo de calor inverte, perdendo-o para o ambiente. A cobertura da vegetação permite proteger o solo da radiação direta durante o dia e também atrasa a perda da radiação térmica durante a noite. Em climas onde há queda de neve, a camada formada também ajuda na proteção térmica do solo.

O balanço energético de uma cobertura verde pode então ser representado simplificadamente pela absorção da radiação solar incidente, o calor armazenado, o calor perdido pela convecção, a energia utilizada no metabolismo e a perda de calor latente por evaporação (CORREA, 2001).

Segundo a maioria dos autores, a melhor performance térmica destas coberturas é atingida no verão quando há forte radiação solar e muitas horas de sol. Neste caso, a vegetação pode contribuir com os mecanismos de troca de calor já abordados. Nomeadamente, refletindo através uma fração da radiação solar que recebe através da vegetação, transferindo o calor para o meio ambiente por convecção ou para os restantes elementos da cobertura por condução. Segundo EUMORFOPOULOU e ARAVANTINOS (1998), do total de radiação absorvida, 27% é refletida, 60% absorvida pelas plantas e solo e 13% é transmitida ao solo. Apesar dos escassos estudos de desempenho térmico destas coberturas para condições de inverno, alguns autores referem que as coberturas verdes permitem reduzir as perdas de calor dos edifícios ao funcionar como uma membrana isoladora. LIU e BASKARAN (2005) referem num estudo efetuado em Toronto, Canadá, que a eficácia dos mecanismos de troca de calor diminui bastante nesta estação, principalmente quando a vegetação não resiste às baixas temperaturas e o substrato da cobertura congela.

### **2.11.2. COMPORTAMENTO TÉRMICO**

Como qualquer cobertura ou fachada de um edifício, uma cobertura verde deve fornecer isolamento térmico. É o isolamento que influencia diretamente as trocas de calor com o exterior, que por sua vez dependem diretamente das características físicas dos materiais que compõem a

---

cobertura. É, por isso, importante conhecer algumas dessas propriedades que permitam caracterizar termicamente uma cobertura verde.

### **Condutibilidade térmica**

Esta é uma propriedade térmica de um material homogêneo que corresponde à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material, por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. Por isso, a um valor de coeficiente pequeno, corresponde uma boa capacidade de isolamento térmico dado que esta propriedade caracteriza a maior ou menor facilidade de transferência de calor dos materiais. A condutibilidade térmica é expressa no coeficiente de condutibilidade térmica, medido em  $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$  para o sistema SI (FUTURENG, 2012).

No caso das coberturas verdes, o valor do coeficiente de condutibilidade térmica é de difícil obtenção devido ao carácter heterogêneo destas coberturas, sobretudo pela presença de vegetação com características por vezes muito distintas na mesma cobertura.

### **Inércia térmica**

A inércia térmica pode ser definida como uma característica de um corpo que lhe permite resistir à mudança de estado e consequentemente às alterações de temperatura (CORREA, 2001). Aplicado a um edifício, a inércia térmica é a capacidade de amortecer os extremos de temperatura interiores e exteriores, diminuindo as variações de temperatura interior. Este fator está diretamente dependente da massa térmica dos materiais, ou seja, a sua capacidade de acumulação de calor. Quanto maior a massa térmica de um material, maior a sua capacidade de acumulação de calor o que lhe permite resistir mais facilmente às variações de temperatura. A determinação do efeito da inércia térmica de uma parede ou cobertura é bastante complexa. (SILVA, 2006) apud (MITJÁ *et al.*, 1986) refere que é possível avaliar a inércia térmica decompondo-a em dois fenómenos distintos, o atraso térmico e o amortecimento térmico. Dado que as temperaturas e a radiação solar seguem padrões diários cíclicos dependendo da latitude, as condições térmicas de um edifício sem climatização, segue esses mesmos padrões, dependendo é claro, dos materiais que o constituem. As diferentes constituições de materiais vão modificar sobretudo as variações de amplitude entre as temperaturas máximas e mínimas (MORAIS, 2004). Na prática, a partir da análise deste fator, pode-se definir o atraso térmico como sendo a diferença de tempo, em horas, decorrido desde o extremo de temperatura registado no exterior e a manifestação desse extremo no interior do edifício. Uma cobertura que apresente um

---

grande atraso térmico revela-se um bom elemento acumulador de calor e consequentemente uma boa solução de isolamento térmico. O amortecimento térmico é definido como sendo a razão entre a amplitude térmica externa e a amplitude térmica interna e caracteriza um edifício em relação à sua capacidade de diminuição das amplitudes térmicas no seu interior.

### **2.11.3. ESTADO DE ARTE**

Os estudos apoiados em dados experimentais até agora efetuados permitiram tirar algumas ilações acerca das características das coberturas verdes que influenciam o seu desempenho térmico e apurar as suas diferenças neste campo, perante as coberturas tradicionais. MEIER (1990) referiu que a colocação das plantas nas superfícies dos edifícios poderia reduzir a sua temperatura em 20°C e a energia gasta em climatização até 80%, embora as reduções de 25-50% fossem mais comuns.

DEL BARRIO (1998) concluiu através do uso de modelação matemática que, no que diz respeito ao controlo da temperatura, estas coberturas poderiam funcionar como eficazes dispositivos de isolamento térmico, reduzindo o fluxo de calor através dos telhados. ONMURA *et al.* (2001) comprovou-o experimentalmente ao registar uma diferença de 30°C na temperatura da superfície interna de uma laje nua comparada com uma cobertura verde durante o dia e ao estimar através de cálculo simples, que esta diferença acompanhou um decréscimo de 50% no fluxo de calor para o interior do edifício. O mesmo efeito de redução da temperatura interna foi comprovado por VECCHIA (2005), utilizando uma cobertura com características leves como cobertura verde, registando diferenças de até 8,0°C em relação à temperatura ambiente (34°C), sendo que a amplitude térmica média interna foi de 9,2°C e no ambiente externo 21,4°C (OLIVEIRA, 2009).

CORREA (2001), comparando experimentalmente um sistema de cobertura verde com uma cobertura tradicional, concluiu que a cobertura verde em estudo se apresentou térmica e energeticamente mais favorável nas estações de inverno e verão devido à regulação da temperatura através dos processos naturais da vegetação. Também MORAIS (2004) e ANDRADE (2007) indicaram um desempenho térmico mais satisfatório das coberturas verdes analisadas em relação às tradicionais, particularmente na atenuação das flutuações térmicas e na proteção das superfícies internas e externas das coberturas.



---

LIU e BASKARAN (2003) demonstraram que uma cobertura verde com uma espessura de substrato de 150 mm poderia reduzir significativamente a temperatura registrada na membrana impermeabilizante de um telhado, durante o Verão. As temperaturas registradas na membrana descoberta foram superiores a 70°C mas raramente ultrapassaram os 38°C na membrana abaixo da cobertura verde. A partir de uma observação de 660 dias os autores verificaram que as oscilações de temperatura a que uma membrana de uma cobertura de referência estava exposta, apresentavam uma mediana de 42 a 47°C. Já as observadas na cobertura verde apresentavam uma mediana de apenas 5 a 7°C. Concluíram também que a cobertura verde era mais eficiente da redução dos ganhos de calor, ou seja, na diminuição do fluxo de calor para o seu interior, comparativamente às perdas de calor.

Os mesmos autores, LIU e BASKARAN (2005), a partir de um estudo experimental aplicando coberturas verdes em 2 edifícios da cidade de Toronto, Canadá, concluíram que estas reduziam o fluxo de calor em percentagens de 70% a 90% no Verão e 10% a 30% no Inverno reduzindo também as necessidades de climatização.

DEL BARRIO (1998) e THEODOSIOU (2003) demonstraram que as coberturas com vegetação podiam atuar como isolantes, ao reduzir o fluxo de calor através da cobertura. As principais características que o possibilitavam eram: a área total de folhagem (leaf area index), altura da folhagem, espessura da camada do solo (densidade aparente e conteúdo em humidade), evapotranspiração, tipo de vegetação da cobertura, espessura da camada isolante, humidade relativa e velocidade do vento. WONG *et al.* (2003) detetou que a transferência de calor através da cobertura sem vegetação era superior às coberturas com vegetação .

LIU e BASKARAN (2003) estudaram o comportamento térmico de coberturas verdes com ajuda de uma instalação experimental com área de cobertura de 72 m<sup>2</sup> dividida em duas zonas distintas, uma com cobertura verde extensiva e a outra revestida com uma cobertura betuminosa modificada. As superfícies das coberturas são semelhantes até à cobertura verde. Como conclusão, os autores referiram que uma cobertura com as características da estudada (150mm de substrato) poderia reduzir a temperatura da membrana de impermeabilização no Verão. Esta quando exposta poderia atingir os 70°C enquanto sob a cobertura verde apenas 30°C. Além disso, a cobertura verde moderava as flutuações de temperatura, especialmente em meses de Verão.

---

Tudo isto contribui para uma diminuição do consumo de energia para climatização, especialmente durante os meses de Verão.

FIORETTI *et al.* (2010) escolheu o Verão para investigar o comportamento térmico e energético de uma cobertura verde intensiva porque é durante esta estação que este tipo de coberturas apresenta resultados mais satisfatórios para a área do Mediterrâneo. Este autor verificou então, que a cobertura verde em estudo permitia atenuar a radiação solar assim como fornecer isolamento térmico da estrutura onde está instalada. No caso do fluxo de calor através da cobertura, esta também permitiu obter bons resultados, diminuindo a quantidade de calor que entra no edifício, reduzindo o consumo de energia.

---

## Capítulo 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

De forma a avaliar a influência das coberturas verdes no comportamento térmico de um edifício foi usada uma estrutura experimental designada célula de teste onde foi instalado um conjunto de sensores conectados a um sistema de aquisição de dados, que permitiu registar a evolução temporal dos parâmetros necessários ao estudo. A célula de teste foi dividida em dois compartimentos idênticos que diferiam apenas no tipo de cobertura. O compartimento onde se encontra instalada a cobertura verde foi designado “compartimento de teste”, sendo o “compartimento de controlo” aquele que apresenta a cobertura tradicional. Nas secções seguintes são apresentadas as características das instalações e equipamentos usados bem como os métodos utilizados para a obtenção dos dados experimentais.

### 3.1. Localização e orientação

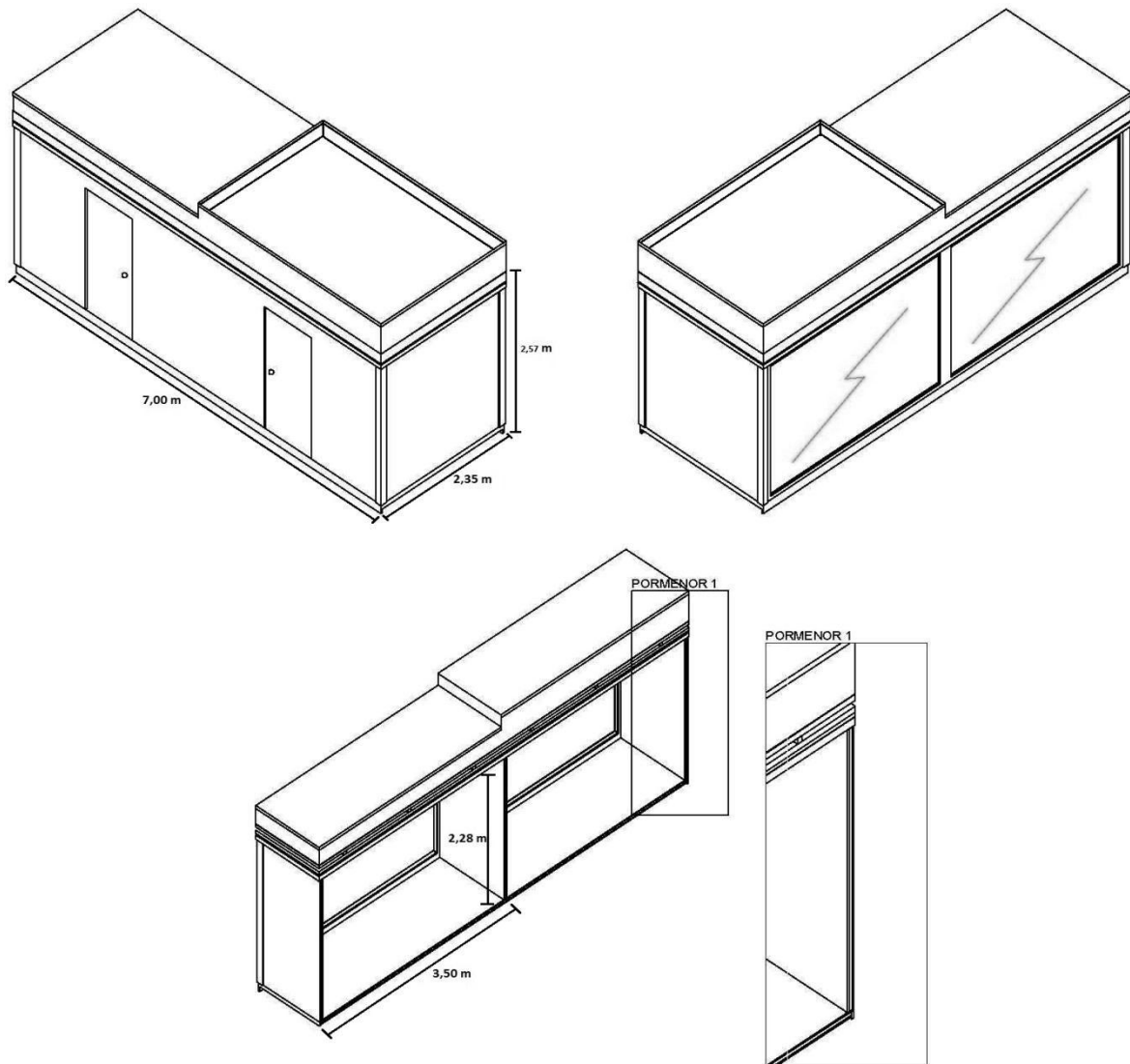
A célula de teste está localizada no Campus da Universidade de Aveiro, próximo da Ponte Pedonal do Estreito de S. Pedro (v. Figura 3.1), com as coordenadas GPS 40° 62.809’N e 8° 65.6594’W e orientação a Sul. Esta orientação permite um maior aproveitamento da radiação solar através da fachada envidraçada no Inverno, quando o percurso do sol se faz em ângulos mais próximos do Sul geográfico, e no verão, devido aos ângulos mais elevados que o sol descreve, permite obter um maior sombreamento desta fachada (GONÇALVES e GRAÇA, 2004). É, por isso, pretendido com esta orientação, recriar as condições de um edifício cujos ganhos solares passivos não se efetuem maioritariamente pela cobertura, simulando as condições reais.



**Figura 3.1** Localização da célula de teste – vista aérea

### 3.2. Célula de Teste

A célula de teste instalada tem uma forma paralelepípedica (v. Figura 3.2) com 7 m de comprimento, 2,35 m de largura e 2,57 m de altura, sendo o pé direito igual 2,28 m, perfazendo uma área total de 16,45 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.2** Esquema da célula de teste

As paredes da célula de teste são formadas por painel sandwich com 40 mm de espessura, formado por chapa de aço pré-lacada sobre base galvanizada em ambas as faces e isolamento intermédio (térmico e acústico) formado à base de resinas de poliuretano auto extingüível. O painel sandwich apresenta um coeficiente de transmissão térmica ( $k$ ) de  $0,51 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , apresentando uma boa resistência a humidade, mantendo as suas características ao longo do tempo. Quanto ao comportamento contra o fogo é classificado como M2, ou seja, dificilmente

---

inflamável. À parede interna que divide os dois compartimentos, cuja composição é igual à das restantes paredes da célula, foram adicionadas placas de poliestireno expandido, vulgarmente conhecido por esferovite, com 30 mm de espessura, revestindo toda a área da divisória. A inclusão deste material teve como finalidade a redução da transmissão térmica entre compartimentos, permitindo obter resultados mais fiáveis na análise do comportamento térmico de cada compartimento.

O pavimento da célula de teste é constituído numa camada inicial composta de perfis de chapa galvanizada conformados a frio, sustentando uma carga repartida uniformemente de  $250 \text{ kg m}^{-2}$ . Agregada a essa camada de chapa galvanizada existe uma camada isolante de estrado Fenólico com 18 mm de espessura e uma tela de Vinílico *Traviata 6026* para revestimento do piso.

Os pilares da célula de teste são formados por perfis quinados em aço galvanizado de 2 mm de espessura e contêm no interior um tubo redondo em PVC, com 70 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura, destinado ao escoamento das águas da cobertura. No interior da célula, os pilares são rematados por uma chapa lacada.

A face da célula de teste orientada a Norte (v. Figura 3.4) é construída com um painel *sandwich*, em que se incluem duas portas em aço lacado a branco, de dimensões 900 x 2010 mm, que dão acesso a cada um dos compartimentos. A face da célula orientada a Sul (v. Figura 3.3) é composta por duas montras de caixilharia em alumínio lacado a branco (1800 x 2280 mm) com vidro duplo de 5 + 12 + 5 mm.

A cobertura da célula de teste é formada por uma camada inferior em teto falso constituído por chapa perfilada galvanizada em poliéster e silicone branco *pirinéu 1006*, com 0,05 mm de espessura. A camada superior da cobertura é de chapa galvanizada com perfis conformados a frio sobre a qual está sobreposto um conjunto de tubos galvanizados com dimensões de 40 x 30 x 1,5 mm onde se fixa uma chapa perfilada do tipo HT-30 com 0,6 mm de espessura. Estas duas camadas estão separadas por fibra de vidro com lâmina anti-vapor com a espessura de 80 mm para aumentar a capacidade de isolamento da cobertura.



**Figura 3.3** Fachada orientada a Sul



**Figura 3.4** Fachada orientada a Norte

### 3.3. Cobertura Verde

Como foi referido anteriormente, a célula de teste encontra-se dividida em dois compartimentos com características semelhantes excetuando a cobertura. Com este procedimento, pretende-se estudar o desempenho de uma cobertura verde, perante o das coberturas tradicionais. No compartimento de controlo, acrescentou-se à cobertura da célula de teste descrita na secção anterior, uma chapa *sandwich* de 40 mm de espessura, com o intuito de fornecer algum isolamento adicional, aproximando o seu desempenho ao de uma cobertura tradicional. Como reforço da estrutura foram instalados tubos de ferro zincado entre a cobertura e a chapa *sandwich* o que levou à formação de uma caixa-de-ar com 80 mm de espessura.

No compartimento de teste foi instalada uma cobertura verde sobre um tabuleiro de chapa zincada com 2 mm de espessura. Este tabuleiro tem uma função de suporte da cobertura e permite que esta seja removida quando necessário. Também este compartimento apresenta uma caixa-de-ar entre o tabuleiro e a cobertura da célula devido ao reforço da estrutura já referido.

A cobertura verde aplicada no compartimento de teste foi do tipo extensivo. A escolha deveu-se ao facto deste tipo de coberturas apresentar vegetação de baixo porte e substrato com pequena espessura o que permite obter cargas baixas na estrutura. Aliado a estas condições, está o facto deste tipo de coberturas ser o mais adequado ao clima de Portugal devido às características da vegetação usada. A vegetação escolhida para a cobertura de teste foi do género *Sedum*, com um substrato associado que apresenta valores entre os 8 e 12 cm, sendo a espessura total da cobertura de cerca de 17 cm. A área total da cobertura é de 7,70 m<sup>2</sup> (2,2 x 3,5 m) e a carga que

---

exerce quando saturada é de  $1,24 \text{ kN m}^{-2}$ . O aconselhamento técnico e a instalação ficaram a cargo da empresa Neoturf, especialista na construção e manutenção de coberturas e paredes verdes. As características dos componentes da cobertura são apresentadas de seguida.

### **Camada de vegetação**

Esta camada da marca “sedum Landlab” é formada por um tapete de vegetação pré-cultivada de uma mistura de entre 4 a 8 espécies de plantas do género *Sedum*, desenvolvidas sobre uma manta biodegradável de fibras de coco e substrato (LANDLAB, 2012). O peso desta camada quando seca é de aproximadamente  $10 \text{ kg m}^{-2}$  e de aproximadamente  $15 \text{ kg m}^{-2}$  quando saturada. Apresenta uma espessura entre 2 a 4 cm.

### **Camada de substrato**

Este componente da cobertura verde é da marca “Siro® Roof” especialmente desenvolvido para este fim, tem na sua composição húmus e turfas loiras além de substrato fertilizante, o que permite responder as necessidades das plantas assegurando uma boa drenagem de água, diminuindo a carga na estrutura. Este componente tem uma densidade aparente quando totalmente saturado de  $650 \text{ a } 700 \text{ kg m}^{-3}$ .

### **Camada filtrante**

O filtro do sistema é da marca Zinco, modelo SF e consiste numa manta filtrante de polipropileno termosoldado. Este material apresenta uma espessura de 0,06 cm e peso de  $0,1 \text{ kg m}^{-2}$ , alta permeabilidade e resistência a decomposição e perfuração.

### **Camada de Drenagem**

A camada de drenagem é constituída pelo componente Floradrain® FD 40-E da marca Zinco cuja composição é polietileno totalmente reciclado. Este produto assegura a drenagem do sistema e permite acumular a água que não é retida pelo substrato. Com uma altura de 4 cm e um peso de  $2,2 \text{ kg m}^{-2}$  permite reter até  $4 \text{ l m}^{-2}$  nos orifícios de retenção. Para superfícies com percentagem de inclinação de 1% este componente permite escoar aproximadamente  $1,5 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ .

### **Camada de proteção**

A camada de proteção da cobertura de teste é constituída por dois componentes. O primeiro componente assente diretamente sobre o tabuleiro da cobertura consiste numa lâmina anti raízes

---

de polietileno de alta resistência, Zinco WFS 40, com um peso aproximado de  $0,33 \text{ kg m}^{-2}$ . O segundo componente é uma manta de proteção e retenção, Zinco SSM45, e encontra-se sobre a lâmina anti raízes. Permite dar proteção adicional contra a perfuração e acrescentar capacidade de retenção de água ao sistema. Este componente é fabricado com poliéster e polipropileno reciclado, tem uma espessura de 0,05 mm e representa uma carga adicional na estrutura de  $0,470 \text{ kg m}^{-2}$ . A sua capacidade de retenção de água é de aproximadamente  $5 \text{ l m}^{-2}$ .



**Figura 3.5** Cobertura verde instalada

### **3.4. Sistema de aquisição de dados**

A aquisição de dados experimentais foi feita através da colocação equipamentos de medição de temperatura, humidade, radiação solar e velocidade do vento posicionados no interior e exterior da célula de teste. A informação monitorizada pela instrumentação foi recolhida por módulos de aquisição de dados que em comunicação com um computador, e através do uso de *software* específico, possibilitou a recolha, o armazenamento e o processamento da informação obtida.

Para a obtenção dos dados de temperatura no interior da célula de teste, compartimento de teste e compartimento de controlo, foram utilizadas sondas de temperatura Pt100 3F (v. Figura 3.6) cujas características estão expressas na Tabela 3.1. O princípio de funcionamento destas sondas baseia-se na variação da resistência elétrica do material que as constitui em função da temperatura à qual são expostas. Estas sondas são conectadas aos módulos recetores por 3 fios que permitem fazer a compensação dos dados obtidos no elemento sensor o que garante a precisão das medições.





**Figura 3.6** Sondas Pt 100 3F

**Tabela 3.1** Características das Sondas Pt100 3F

Parâmetros		Valores Característicos
Bolbo		PCA 2 x 5 mm Classe A
Temperatura máxima		200°C
Temperatura mínima		-50°C
Dimensões	Diâmetro	6 mm
	Comprimento	30 mm
Cabo em silicone		3000 mm

Para a monitorização da temperatura e humidade exterior à célula de teste foi utilizada uma sonda HD 9008 TR (v. Figura 3.7). A sonda HD 9008 TR, cujas características são apresentadas na Tabela 3.2, reúne um sensor capacitivo de humidade relativa do tipo H 6100 e uma sonda de temperatura do tipo Pt100. Esta sonda vem equipada com um suporte de 12 anéis que confere proteção contra o vento, a radiação solar e a chuva.



**Figura 3.7** Sonda de humidade HD 9008 TR: (A) Sonda, (B) Sonda e suporte instalados na célula de teste

**Tabela 3.2** Características da Sonda HD 9008 TR

Parâmetro		Valores Característicos
Temperatura de trabalho da parte eletrónica		-40 ... +80°C
Temperatura de trabalho do sensor		-40 ... +80°C
Alimentação do transmissor		10 ... 30 Vcc (4... 20mA)
Capacidade		300 pF typ.
Humidade	Faixa de medição	0 a 100% HR
	Precisão a 20°C	± 2% HR (10 ... 90% HR) ; ± 2,5% HR (para restantes valores da gama)
	Tempo de resposta à 63% da variação final	3 min com filtro ; 6 seg sem filtro
	Sinal de saída	0% HR = 4,0 mA; 100% HR = 20,0 mA
	Resistência com carga	$RL_{max} = \frac{(V_{dc}-10)}{22 \text{ mA}}$

**Tabela 3.2** Características da Sonda HD 9008 TR (Cont.)

Parâmetro		Valores Característicos
Temperatura	Faixa de medição – Configuração padrão	-40 ... +80°C
	Precisão	± 0,15°C ± 0,1 % da medição
	Tempo de resposta à 63% da variação final	60 seg com filtro ; 5 seg sem filtro
	Sinal de saída	-40°C = 4,0 mA ; +80°C = 20,0 mA
	Resistência com carga	$RL_{max} = \frac{(V_{cc}-7)}{22 \text{ mA}}$
Dimensões		Ø 26 x 225 mm
Comprimento máximo		200 m
Secção mínima do fio		20 AWG – 0,5 mm <sup>2</sup>

---

Diâmetro máximo do cabo

Ø 5 mm

---

As medições de temperatura e humidade no interior da célula de teste são realizadas através da sonda 907021/21 marca JUMO (v. Figura 3.8) cujas principais características estão presentes na Tabela 3.3.



**Figura 3.8** Sonda de medição de temperatura e humidade interior

**Tabela 3.3** Características operacionais de sonda de temperatura e humidade interior

Parâmetro		Valores Característicos	
Voltagem	Voltagem saída	15 – 35 VDC	24 VAC ± 20%
alimentação	Corrente saída	20-35 VDC para RL<500 Ohm	11-35 VDC para RL<50 Ohm
	Corrente de alimentação	15 mA para voltagem saída	
Compatibilidade eletromagnética		EN 61000-6-1	EN 61326-1+A1+A2
		EN 61000-6-3	
Faixa de Trabalho		-5 ... +50 °C	
temperatura	Armazenamento	-30 ... +60 °C	
Humidade	Saída 0÷100% HR	0 – 10 V	RL > 10 kOhm
		4 – 20 mA	RL < 500 Ohm (2 fios)

	Faixa de trabalho	20 ... 90% HR	
	Precisão 20°C	$\pm 3\%$ HR (40... 60% HR) ; $\pm 5\%$ HR (faixa de trabalho)	
Temperatura		0 – 10 V	RL > 10 kOhm
	Saída 0 ... 50°C	4 – 20 mA	RL < 500 Ohm (2 fios)
	Precisão 20°C	$\pm 0,5$ °C	

O equipamento escolhido para a medição da radiação solar horizontal incidente sobre a cobertura da célula de teste foi o Piranómetro LP PYRA 03 (Figura 3.9). Na Tabela 3.4 são apresentadas as principais características técnicas e funcionais deste sensor.



**Figura 3.9** Piranómetro LP PYRA 03 instalado na célula de teste

**Tabela 3.4** Características do Piranómetro LP PYRA 03

Parâmetro	Valores Característicos
Sensibilidade	4 a 20mA (0 a 2000 W/m <sup>2</sup> )
Impedância	33 a 45 $\Omega$
Faixa de medição	0 ÷ 2000 W/m <sup>2</sup>
Ângulo de visão	$2\pi$ sr
Faixa espectral	305 nm a 2800 nm (50%)
Temperatura de operação	-40°C a +80 °C
Peso	0,45 kg

A velocidade do vento foi monitorizada com recurso a um anemómetro da marca Davis, modelo 3R420020-KIT (v. Figura 3.10). A Tabela 3.5 resume as características do equipamento.



**Figura 3.10** Anemómetro 3R420020-KIT A

**Tabela 3.5** Características Anemómetro 3R420020-KIT A

Parâmetros		Valores característicos
Temperatura de operação		-40 ... +65 °C
Material constituinte		Plástico ABS resistente a UV
Dimensões	Largura	57mm
	Altura	57mm
Peso		87 g
Resolução e unidades		0,36 Km h <sup>-1</sup> (0,1 m s <sup>-1</sup> )
Gama		1 ... 160 Km h <sup>-1</sup> (44,44 m s <sup>-1</sup> )
Precisão		±2%
Intervalo de medição		2 s

Para a determinação do fluxo de calor para o interior dos compartimentos da célula de teste foram utilizados fluxímetros de calor da marca Hukseflux, modelo HFP01 cujas características são expressas na Tabela 3.6.



**Figura 3.11** Fluxímetro Hukseflux HFP01

**Tabela 3.6** Características do Fluxímetro de calor Hukseflux HFP01

Parâmetros	Valores característicos
Sensibilidade (nominal)	50 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$
Faixa de temperatura	-30 a +70 °C
Resistência térmica	< 6.25 10 <sup>-3</sup> Km <sup>2</sup> W-1
Faixa de medição	+2000 to -2000 W m <sup>2</sup>

Os dados monitorizados pelos equipamentos são recolhidos e convertidos através de um conjunto de módulos de aquisição de dados que permitem, através da ligação a um computador e com a ajuda do *software EZ Data Logger Basic* (ICP DAS, 2012), registar os valores medidos em tempo real e fazer medições contínuas até 10000h de amostragem.



**Figura 3.12** Módulos de aquisição de dados Marca ICPDAS

**Tabela 3.7** Módulos recetores

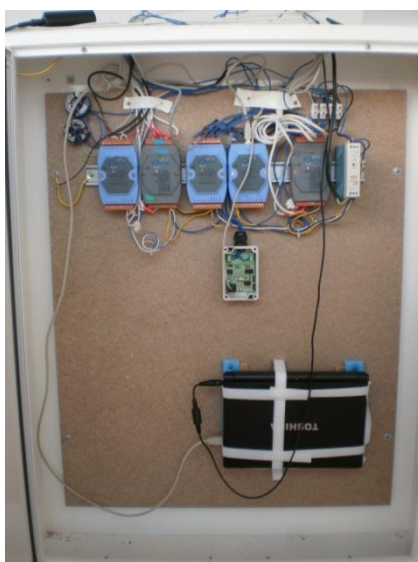
Componente/Módulo	Características
-------------------	-----------------

---

Fonte de alimentação de 24V	Marca <i>Meanwell</i> ; Modelo MDR-20-24
Módulo aquisição de dados das sondas PT100	6 entradas RTD três fios; Marca ICPDAS; Modelo I-7015P-G-CR
Módulo aquisição de dados das sondas PT100	6 entradas RTD três fios; Marca ICPDAS; Modelo I-7015P-G-CR
Módulos de aquisição de dados das sondas HD 9008 RT e 907021/21	Entradas em corrente 4,0... 20mA; Marca ICPDAS; Modelo I-7017C-CR
Módulo conversor USB para RS485	Marca ICPDAS; Modelo I-7561-CR
Módulo aquisição de dados dos fluxímetros Hukseflux HFP01	6 entradas RTD três fios; Marca ICPDAS; Modelo I-7015P-G-CR
Conversor velocidade do vento	

---

O computador pessoal necessita da instalação da aplicação *EZ Data Logger Basic*, de forma a permitir a visualização dos valores adquiridos a funcionar numa linha de comunicação RS485. A associação do módulo conversor ao computador permite recolher, processar e guardar toda a informação monitorizada pelo conjunto de sensores. O equipamento permite fazer medições dos parâmetros e guardar os registos a cada segundo.



**Figura 3.13** Sistema de aquisição de dados em funcionamento

### 3.5. Monitorização

Com recurso aos equipamentos descritos na secção anterior, foi elaborado um plano de monitorização adequado à obtenção dos dados necessários ao estudo. Toda a instrumentação foi, como já referido, conectada a um computador pessoal equipado com o *software EZ Data Logger Basic* (ICP DAS, 2012), que permite ao utilizador obter leituras em tempo real de cada uma das sondas, escolher um período de amostragem ou escolher o intervalo de dados a guardar.

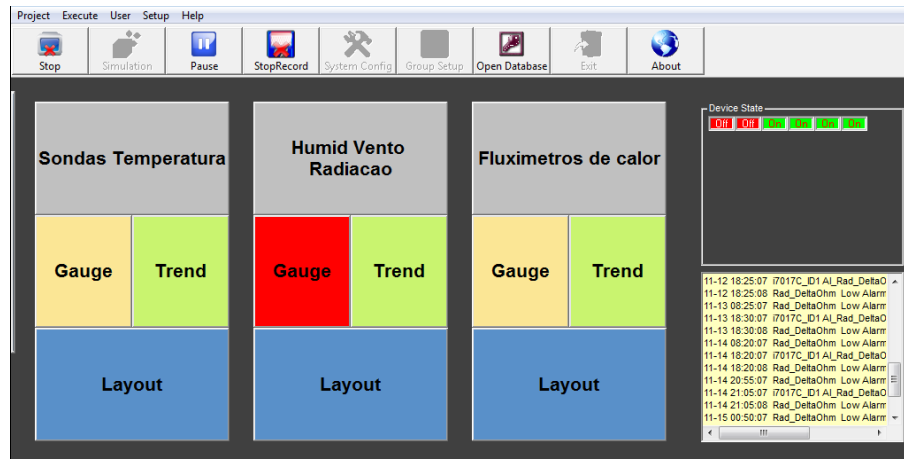


Figura 3.14 Display de funcionamento do *software*

Para estudar a transferência de calor entre o edifício e o exterior, é necessário ter em conta os parâmetros que possam contribuir para as trocas de calor. A avaliação feita aos diferentes parâmetros é realizada no compartimento de teste, no compartimento de controlo e no exterior da célula. Assim, nos subcapítulos seguintes são apresentados os parâmetros analisados neste estudo e os respetivos métodos de monitorização.

#### 3.5.1. TEMPERATURA

A temperatura é uma das variáveis que mais influência exerce sobre as transferências de calor entre os edifícios e o exterior. Este parâmetro induz as trocas de calor através da envolvente dos edifícios e determina os fluxos energéticos entre o interior e exterior. Um edifício apresenta ganhos térmicos quando o fluxo de calor se faz do exterior para o interior, aumentando assim a carga térmica no edifício, contribuindo para o aumento da temperatura interna. Quando o fluxo de calor se faz no sentido inverso devido às temperaturas exteriores mais baixas, os edifícios apresentam perdas térmicas e o consequente abaixamento das temperaturas internas (GONÇALVES e GRAÇA, 2004). O comportamento térmico dos edifícios pode variar para as mesmas condições climáticas dependendo dos materiais que constituem o seu invólucro. As



---

características dos materiais vão determinar a sua resistência térmica e influenciar as transferências de calor com o exterior.

De acordo com os estudos já efetuados, a monitorização deste parâmetro contribui para a avaliação do desempenho energético e da sustentabilidade dos edifícios onde são implementadas as coberturas verdes. Dependendo do clima onde estão inseridas, estas coberturas podem contribuir para a redução do fluxo de calor para o interior do edifício no caso de climas quentes, ou manter o calor no interior do edifício em climas frios. Para escalas mais alargadas, estas coberturas podem contribuir para a diminuição da temperatura da envolvente aos edifícios, substituindo superfícies que contribuem para a absorção do calor, ajudando no arrefecimento da envolvente, através do aumento da refletividade e dos processos naturais da vegetação como a evapotranspiração.

É, por isso, importante para a análise do desempenho térmico de um edifício, conhecer as condições de temperatura internas e a sua envolvente. Deste modo, para o presente estudo, este parâmetro foi monitorizado em vários pontos da célula de teste e na sua envolvente no período de 15 a 20 de novembro de 2012. Nos dois compartimentos da célula de teste foram instaladas sondas Pt100 3F a 3 níveis diferentes, em monitorização simultânea com as sondas de humidade e temperatura interior 907021/21. Para medição deste parâmetro na envolvente à célula de teste foi instalada a sonda de humidade e temperatura exterior HD9008 TR a uma altura de 0,5 m da cobertura e colocadas sondas de temperatura Pt100 3F na superfície exterior da cobertura verde e na superfície da cobertura do compartimento de controlo. As leituras foram registadas pelo sistema de aquisição de dados a cada 15 minutos.

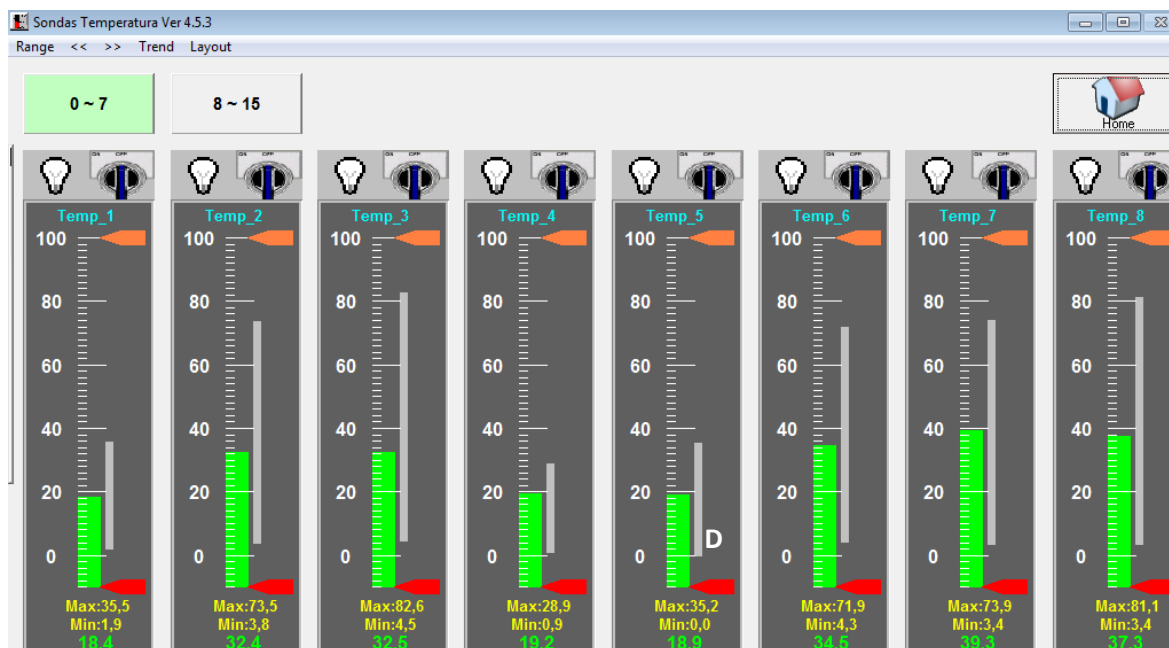


Figura 3.15 Leituras instantâneas de alguns sensores de temperatura

### 3.5.2. RADIAÇÃO SOLAR

Designa-se radiação solar, a radiação emitida pelo Sol transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Esta radiação apresenta um espectro de comprimentos de onda entre 100 a 100.000 nm. A menores comprimentos de onda correspondem os raios X e gama e as radiações ultra violetas, sendo o espectro visível da radiação o correspondente ao intervalo de 360 a 760 nm. Para comprimentos de onda superiores ao espectro visível estão as radiações infra vermelhas, micro-ondas e ondas de rádio. Anualmente, a radiação solar fornece para a atmosfera terrestre  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia, sendo esta forma de energia a principal responsável pelos processos físicos que geram o tempo meteorológico e o clima, constituindo também o suporte para a maioria das cadeias tróficas.

Para quantificar a radiação, é usual falar-se em dois sistemas de grandezas e unidades o sistema fotométrico e o sistema radiométrico. O sistema fotométrico é usado para quantificar a radiação visível, e por isso, limitada a uma pequena faixa do espectro eletromagnético. Neste sistema, a quantidade de luz que atinge a superfície é medida em lúmen por unidade de área ( $\text{lm m}^{-2}$ ) e denomina-se por *luminância*. O sistema radiométrico é aplicado a todas as componentes do espectro, sendo a grandeza correspondente a *irradiância*, medida em watt por unidade de área ( $\text{W m}^{-2}$ ).

---

Quando a radiação solar incide sobre um edifício, uma parte dela é absorvida e transmitida pelos materiais que constituem o invólucro do edifício. A transferência de calor é feita através dos processos de condução, convecção e radiação que podem ocorrer simultaneamente ou de forma isolada nas várias zonas do isolamento. No caso de uma cobertura verde, a vegetação consegue absorver grandes quantidades de radiação solar recebida através dos processos metabólicos da vegetação e evapotranspiração. Estes mecanismos podem reduzir a transmissão de calor a outros componentes da cobertura diferenciando-se assim das coberturas tradicionais (CORREA, 2001).

Neste estudo, para a medição da radiação solar horizontal incidente, foi usado o piranómetro LP PYRA 03 (v. Figura 3.9) instalado ao nível da cobertura verde, sem obstáculos próximos que provocassem interferência nas leituras através do sombreamento do equipamento.

### **3.5.3. FLUXO DE CALOR**

O fluxo de calor pode ser definido como a taxa de transferência de calor através de um determinado material por unidade de área. A um baixo valor de fluxo de calor corresponde uma baixa transferência de calor através de uma determinada camada. O fluxo de calor pode variar com a temperatura, tipo e espessura do material e é composto por três mecanismos de transferência de calor, condução, convecção e radiação, já abordados na secção 2.10.1.

No presente estudo foram utilizados os já referidos fluxímetros de calor Hukseflux HFP01 (v. Figura 3.11) para a determinação do fluxo de calor nos 2 compartimentos. Estes equipamentos foram instalados na superfície interna da cobertura verde e da cobertura de controlo para a determinação do fluxo de calor e a sua variação ao longo do tempo. Os dados foram obtidos em intervalos de 15 minutos, durante o período de medições.

### **3.5.4. HUMIDADE E VENTO**

A humidade, em conjunto com a temperatura, radiação solar e o movimento do ar, é um dos elementos do clima exterior que exerce influência nas trocas térmicas entre o edifício e a sua envolvente. Um maior conteúdo de humidade pressupõe uma maior taxa de evaporação, processo que permite converter a energia solar em calor latente, reduzindo a temperatura da envolvente do edifício (CORREA, 2001). A vegetação pode ter neste aspeto, um papel importante no controlo deste parâmetro, porque permite reter e utilizar a humidade nos seus processos

---

metabólicos. A presença de humidade proporciona melhores condições para o crescimento da vegetação que, com maior porte vai apresentar maiores necessidades energéticas para o processo de fotossíntese e evapotranspiração. Por outro lado, um maior conteúdo de humidade presente no substrato vai retirar uma maior quantidade de energia ganha pelo sistema de cobertura através da radiação solar.

Também o vento pode contribuir para o arrefecimento de um edifício através da ventilação natural que proporciona e pela transferência de calor por convecção sobre o seu invólucro. Além disso é um fator climático que pode contribuir para a extração da humidade fazendo aumentar as perdas térmicas de um edifício. Uma cobertura verde usualmente perde calor por convecção no verão, quando num dado período do dia, a temperatura do ar está mais baixa do que a temperatura da superfície das folhas e ganha calor na situação inversa. Este intercâmbio convectivo é proporcional ao coeficiente de convecção, que por sua vez depende da velocidade do vento na superfície da vegetação (CORREA, 2001). O vento é por isso, um fator climático que afeta diretamente a taxa de evapotranspiração de uma cobertura. Por outro lado, uma cobertura verde pode reduzir a velocidade do vento, diminuindo a propagação convectiva da onda de calor quando comparada com uma cobertura tradicional.

Para análise da influência destes parâmetros no comportamento térmico da célula de teste, foi instalado o anemómetro 3R420020-KIT A (v. Figura 3.10), 1m acima da cobertura da célula. Para a medição da humidade exterior foi usada a sonda de humidade HD 9008 TR (v. Figura 3.7) posicionada 0,5 m acima da cobertura.

---

## Capítulo 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os dados referentes aos vários parâmetros obtidos pelo equipamento instalado na célula de teste e comparados os desempenhos térmicos dos dois compartimentos. O compartimento de controlo onde se encontra instalada uma cobertura com características semelhantes ao tradicional e o compartimento de teste onde está instalada a cobertura verde. Ao longo deste capítulo, para a definição dos dados referentes às variáveis medidas e calculadas, foi usada a terminologia presente na Tabela 4.1:

**Tabela 4.1** Terminologia usada na definição dos parâmetros obtidos e calculados

Designação	Definição	Unidades
TSCT	Temperatura na superfície da cobertura teste	°C
TSCC	Temperatura na superfície da cobertura controlo	°C
FCCC	Fluxo de calor na superfície interna da cobertura controlo	W m <sup>-2</sup>
FCCT	Fluxo de calor na superfície interna da cobertura teste	W m <sup>-2</sup>
HE	Humidade na sonda exterior	%
TE	Temperatura na sonda exterior	°C
RAD	Radiação solar no piranómetro	W m <sup>-2</sup>
TCT	Temperatura interna no compartimento teste	°C
TCC	Temperatura interna no compartimento controlo	°C
TMaxSCC	Temperatura superficial máxima na cobertura de controlo	°C
TminSCC	Temperatura superficial mínima na cobertura de controlo	°C
TMaxSCT	Temperatura superficial máxima na cobertura verde	°C
TminSCT	Temperatura superficial mínima na cobertura verde	°C
ΔTSCC	Amplitude térmica na superfície da cobertura de controlo	°C
ΔTSCT	Amplitude térmica na superfície da cobertura de teste	°C
TMaxCC	Temperatura máxima compartimento controlo	°C
TMaxCT	Temperatura máxima compartimento teste	°C
TminCC	Temperatura mínima compartimento controlo	°C
TminCT	Temperatura mínima compartimento teste	°C
ΔTCC	Amplitude térmica no compartimento de controlo	°C
ΔTCT	Amplitude térmica no compartimento de teste	°C

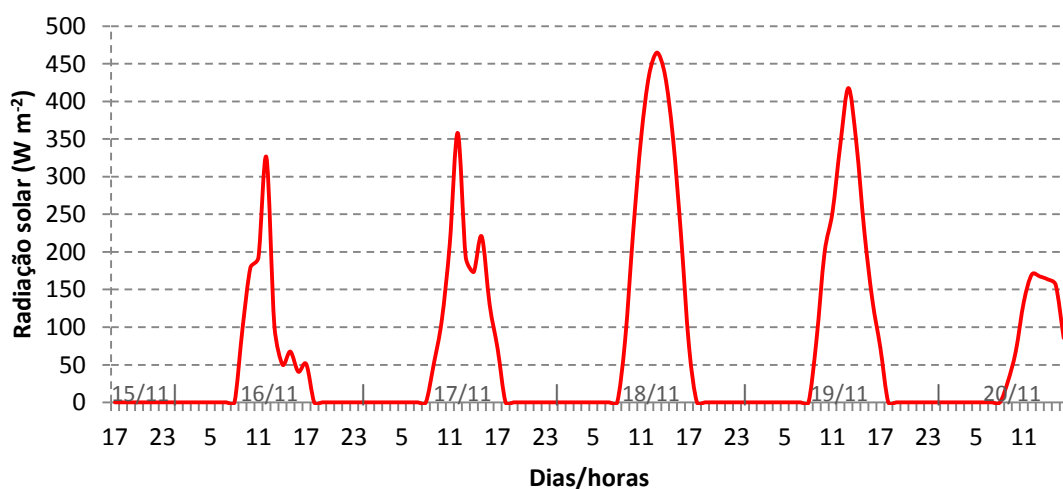
#### 4.1. Dados meteorológicos

O período de medições teve início às 17 horas do dia 15 de novembro e fim às 16 horas de 20 de novembro. Foram recolhidos os parâmetros meteorológicos obtidos pelas sondas colocadas no exterior da célula de teste, sendo os dados apresentados na Tabela 4.2. Os primeiros dois dias de medições caracterizaram-se pela ocorrência de alguma precipitação que não ocorreu no terceiro dia, passando a períodos de céu nublado. Os restantes dias apresentaram condições constantes com céu limpo e temperaturas médias muito próximas.

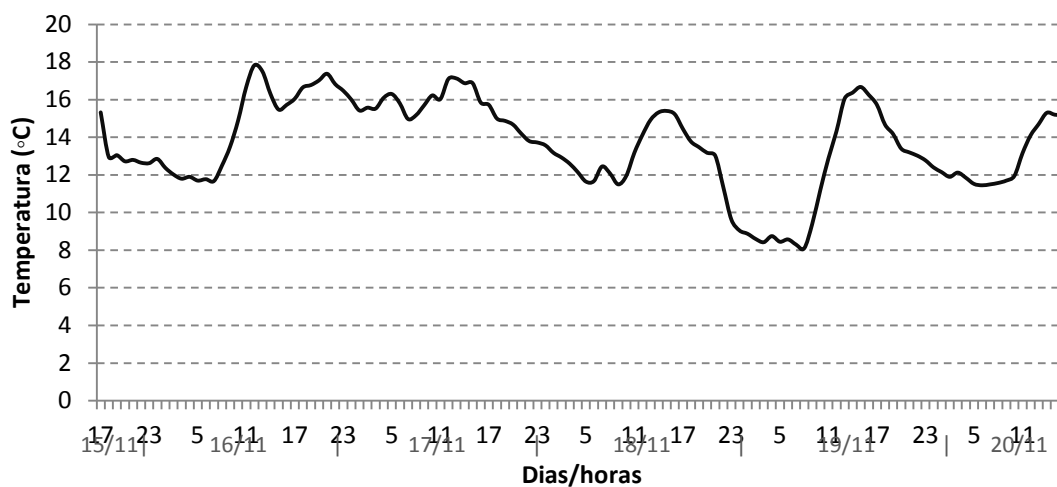
**Tabela 4.2** Dados meteorológicos no exterior da célula para o período de 15 a 20 de novembro de 2012

Parâmetros	Dia					
	15	16	17	18	19	20
Temperatura Máxima (°C)	15,33	17,83	17,13	15,40	16,68	15,30
Temperatura Média (°C)	13,16	14,74	15,61	13,03	11,97	12,81
Temperatura Mínima (°C)	12,63	11,68	13,73	9,63	8,10	11,45
Humidade Relativa (%)	89,60	77,96	74,83	74,71	81,46	67,54
Radiação Solar ( $\text{W m}^{-2}$ )	0,00	46,11	63,24	110,26	86,52	57,17
Velocidade do Vento ( $\text{m s}^{-1}$ )	0,34	0,29	0,28	0,19	0,03	0,54

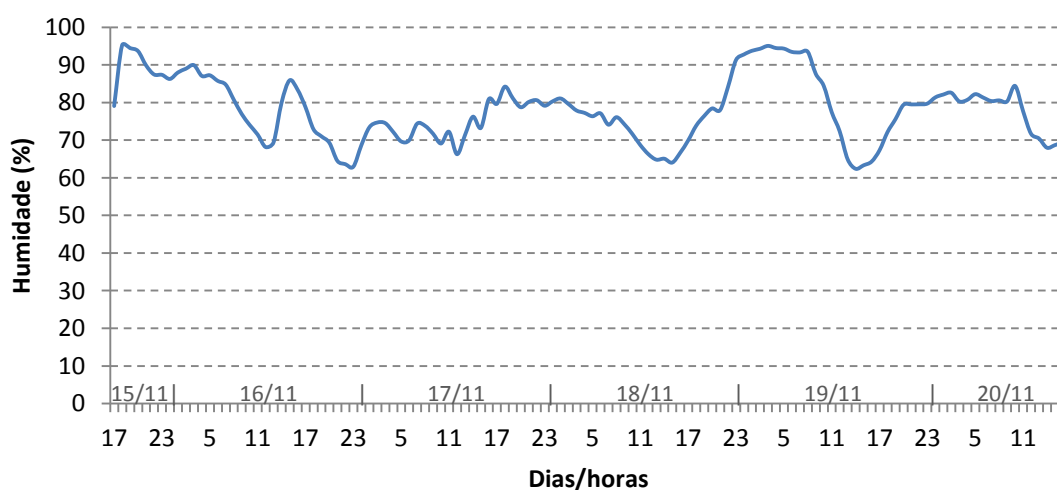
O gráfico da Figura 4.1 mostra a variação da radiação solar global incidente no exterior da célula de teste registada pelo equipamento instalado, para o período de medições de 15 a 20 de novembro. Nos gráficos da Figura 4.2 e Figura 4.3, pode-se verificar respetivamente a variação dos valores de temperatura e humidade no exterior da célula de teste, obtidos através da instrumentação.



**Figura 4.1** Radiação solar registada na célula de teste



**Figura 4.2** Temperatura do ar registada no exterior da célula de teste



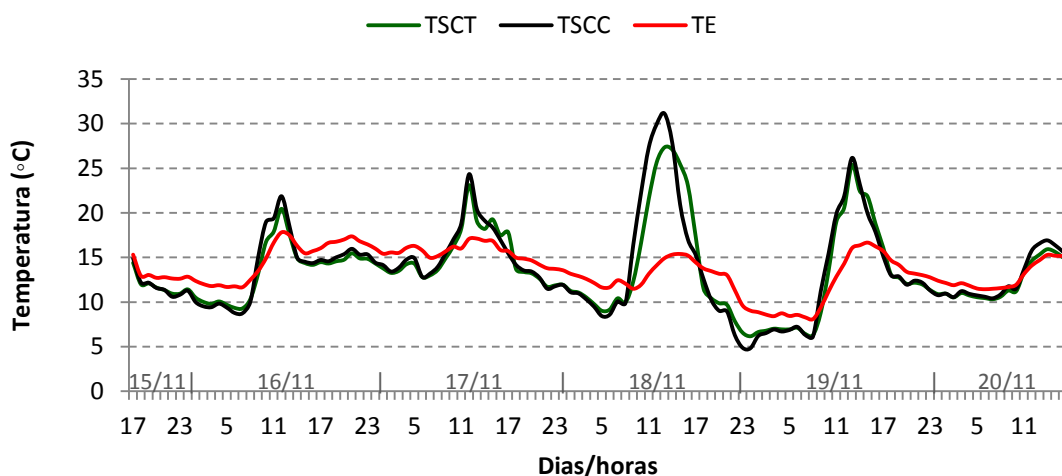
**Figura 4.3** Humidade relativa do ar registada no exterior da célula de teste

Devido à precipitação ocorrida no início do período de medições e aos elevados valores de humidade relativa, verificou-se que o substrato da cobertura verde, assim como a sua camada de retenção se mantiveram sempre saturados. Não foi por isso tomada em conta a variação da humidade da cobertura para o presente estudo. Também os valores de vento, que como se verifica pela Tabela 4.2, se apresentarem muito baixos durante o período de medições, não constituíram um parâmetro que pudesse exercer influência nos resultados deste estudo, nomeadamente, nas perdas de calor por convecção.

## 4.2. Dados da célula de teste: compartimento de controlo e compartimento de teste

### 4.2.1. TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

Com o objetivo de verificar qual das superfícies é responsável pela absorção da maior quantidade de radiação solar, foram medidas as temperaturas na superfície das duas coberturas e comparadas com a temperatura registada no exterior da célula de teste. Os resultados estão expressos no gráfico da Figura 4.4.



**Figura 4.4** Temperaturas registadas no exterior da célula de teste e nas superfícies da cobertura verde e de controlo

Verificou-se que as temperaturas registadas na superfície das duas coberturas apresentam durante o dia, valores superiores à temperatura registada na envolvente da célula. Este facto é explicado pelo tipo e colocação das sondas de temperatura. Ao contrário da sonda de temperatura exterior à célula de teste, as sondas Pt 100 na superfície da cobertura encontravam-se diretamente expostas à radiação solar, absorvendo-a e apresentando por isso, valores superiores ao longo do dia. Apesar da aproximação entre os valores de temperatura das duas coberturas durante o período de medições, é possível ainda verificar pelo gráfico da Figura 4.4 que existem algumas diferenças, sobretudo em dias de maior exposição solar. No terceiro dia de medições, dia 18 novembro, dia que apresentou a maior radiação solar global, as temperaturas registadas na cobertura verde foram sempre inferiores às da cobertura de controlo. O cálculo da amplitude térmica em ambas as superfícies de cobertura presente na Tabela 4.3 permitiu ainda concluir que esta apresentava valores inferiores para a cobertura verde. Estas diferenças, embora pouco significativas, permitem confirmar que as características biológicas da vegetação contribuem para a diminuição da temperatura na sua superfície e que a vegetação está menos



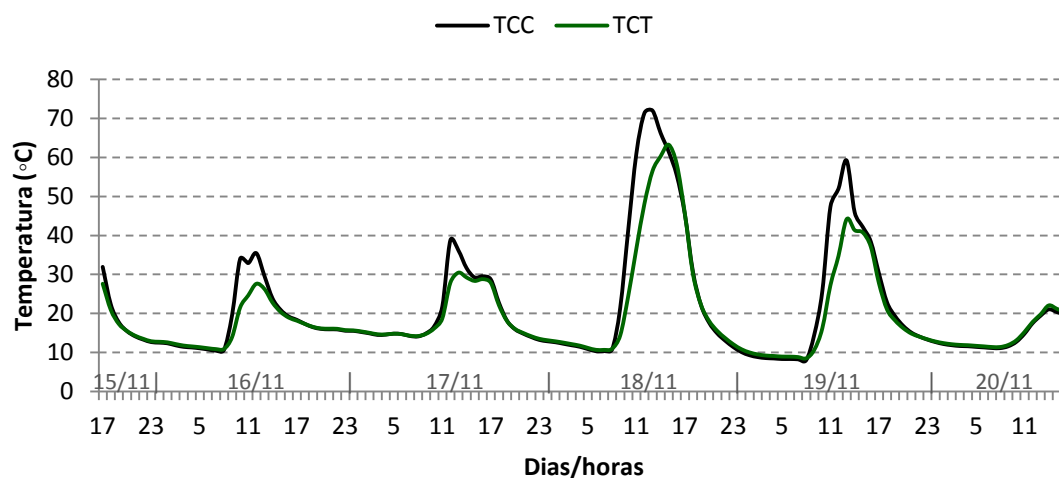
suscetível às cargas térmicas provenientes da radiação solar global direta uma vez que, segundo EUMORFOPOULOU e ARAVANTINOS (1998), do total de radiação incidente numa cobertura verde, 27% é refletida, 60% absorvida pelas plantas e 13% é transmitida ao solo.

**Tabela 4.3** Temperaturas máximas e mínimas e amplitude térmica da superfície das duas coberturas

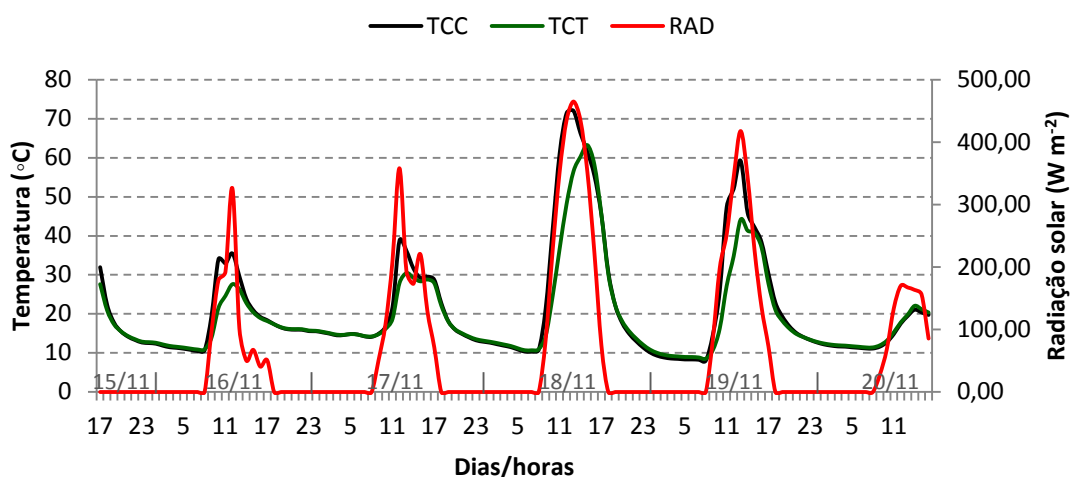
Dia	TMaxSCC	TminSCC	TMaxSCT	TminSCT	$\Delta T_{SCC}$	$\Delta T_{SCT}$
15-Nov	14,90	10,60	14,40	10,95	4,30	3,45
16-Nov	21,88	8,75	20,45	9,30	13,13	11,15
17-Nov	24,35	11,50	23,10	11,73	12,85	11,38
18-Nov	31,15	4,88	27,33	6,58	26,28	20,75
19-Nov	26,18	4,83	25,35	6,18	21,35	19,18
20-Nov	16,93	10,43	15,93	10,33	6,50	5,60

#### 4.2.2. TEMPERATURAS INTERNAS

Os valores de temperatura no interior da célula, registados pela instrumentação no período de medições são mostrados no gráfico da Figura 4.5. Comparando estes valores com o registo de radiação solar global incidente obtido na célula (v. Figura 4.6), é possível verificar que a variação da temperatura no interior da célula está diretamente relacionada com a sua exposição à radiação solar, apresentando uma evolução positiva ao longo do dia até à hora de pico de radiação onde atinge os valores máximos, decrescendo depois, atingindo os mínimos durante o período da noite. Importante referir que os picos máximos de radiação não correspondem aos picos máximos de temperatura no interior dos dois compartimentos da célula de teste devido à inércia térmica das coberturas e faces da célula expostas à radiação.

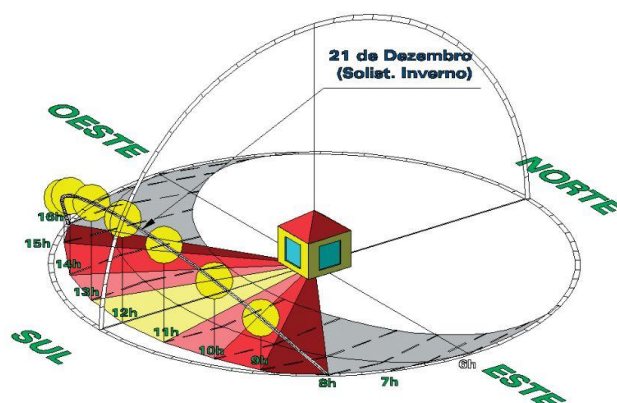


**Figura 4.5** Temperaturas registadas no compartimento de controlo (TCC) e compartimento de teste (TCT)

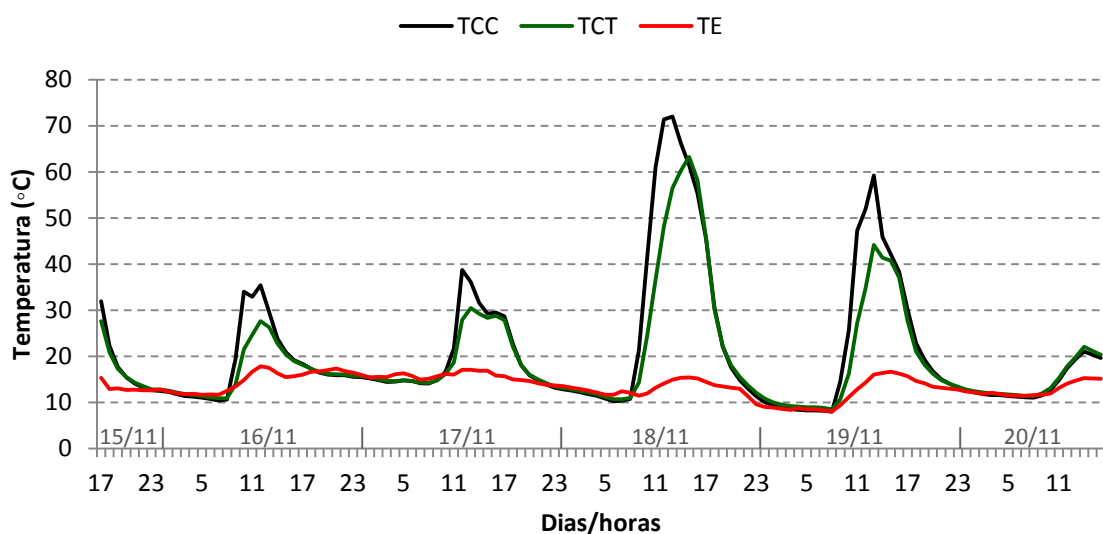


**Figura 4.6** Temperaturas no interior da célula de teste e radiação solar global medida no exterior da célula de teste

Analisando os valores de temperatura registados e comparando-os com a temperatura exterior, verifica-se que, apesar do comportamento semelhante em termos de variação, apresentam uma diferença acentuada nos valores medidos. Para este facto, contribuem as características da célula de teste. Devido à sua fachada envidraçada orientada a sul, este edifício permite obter o máximo de ganhos solares durante o período de inverno como se pode verificar na Figura 4.6. Aliado a esta característica, está o facto de este edifício ser estanque, não apresentando qualquer tipo de ventilação, o que provoca a supressão das transferências de calor por convecção. Não havendo troca de ar entre o interior e o exterior, a energia que entra pela radiação solar e que faz aumentar as temperaturas internas, não é perdida com as correntes ascendentes que transportariam o calor.



**Figura 4.7** Radiação solar na fachada sul para o período de inverno (Fonte: (GONÇALVES e GRAÇA, 2004))



**Figura 4.8** Temperatura exterior e temperaturas interiores no compartimento de teste e compartimento de controlo

Comparando as temperaturas registadas nos dois compartimentos, verificou-se que, embora a variação das temperaturas seja semelhante nos dois compartimentos da célula de teste, é visível uma diferença nos valores por vezes significativa para o período diurno. No dia 18 de novembro conforme é visível na Figura 4.8, a diferença entre as temperaturas médias máximas dos dois compartimentos às 11h, é a mais significativa, tendo o compartimento de controlo apresentado uma temperatura superior em 24,35 °C à cobertura de teste. Para este facto pode ter contribuído a diferença entre o fluxo de calor das coberturas explicado na próxima secção ou a colocação das sondas de temperatura interiores cujo local poderá ter recebido mais radiação solar direta.

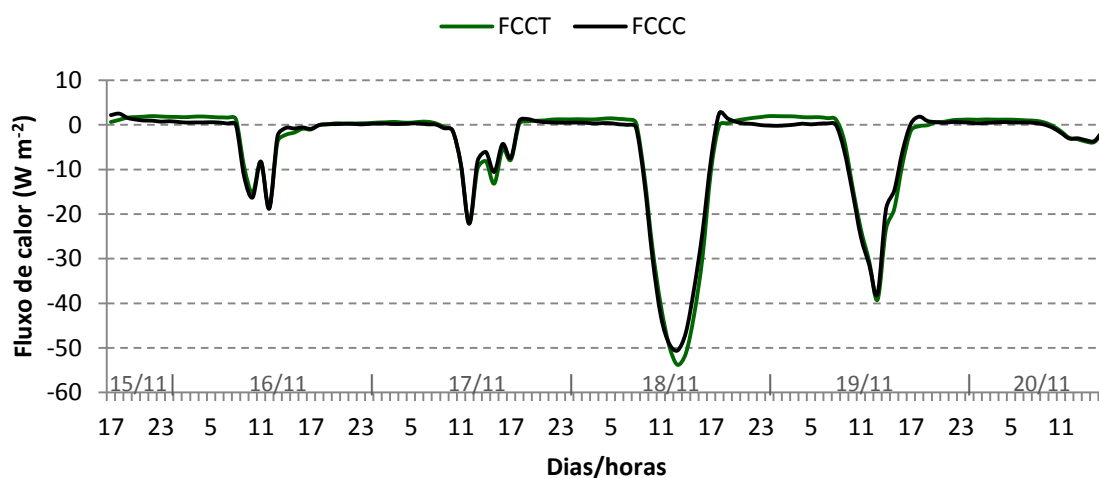
No compartimento de teste, e como é possível confirmar pela Tabela 4.4, registaram-se temperaturas máximas ( $T_{MaxCT}$ ) inferiores às do compartimento de controlo ( $T_{MaxCC}$ ) e temperaturas mínimas superiores durante todo o período de medições. Também as amplitudes térmicas do compartimento de teste ( $\Delta T_{CT}$ ) foram inferiores ao compartimento de controlo durante a maioria do período de medições.

**Tabela 4.4** Temperaturas máximas e mínimas e amplitudes térmicas do ar interno nos dois compartimentos

Dia	TMaxCC	TMaxCT	TminCC	TminCT	$\Delta T_{CC}$	$\Delta T_{CT}$
15-Nov	31,93	27,63	12,64	12,89	19,29	14,74
16-Nov	35,45	27,63	10,44	10,88	25,01	16,74
17-Nov	38,77	30,49	13,19	13,51	25,58	16,98
18-Nov	72,01	63,29	10,29	10,68	61,72	52,61
19-Nov	59,23	44,18	7,98	8,53	51,25	35,65
20-Nov	21,03	22,08	11,09	11,41	9,94	10,66

#### 4.2.3. FLUXO DE CALOR

Os dados obtidos pelos fluxímetros de calor nas superfícies internas da cobertura de teste e cobertura de controlo da célula de teste, para o período de medições, estão representados no gráfico da Figura 4.9.



**Figura 4.9** Fluxos de calor através da cobertura nos dois compartimentos

Para as condições da célula de teste e segundo o registo dos valores de fluxo de calor através da cobertura, verificou-se que este é predominantemente negativo, ou seja, para o exterior da célula (v. Figura 4.9). Como foi explicado na secção anterior, as temperaturas no interior da célula de teste atingem valores bastante superiores aos da temperatura exterior durante o dia. Esta diferença de temperatura provoca um fluxo de calor do interior para o exterior da célula. A cobertura, devido ao fluxo ascendente do ar quente, é uma das zonas da célula onde este

---

fenómeno se faz sentir com grande intensidade, conforme se pode confirmar pelos registos da instrumentação.

Fazendo a comparação entre as coberturas do compartimento de controlo e de teste, pode afirmar-se através da análise dos dados, que as diferenças nos fluxos de calor medidos não são muito significativas, apresentando comportamentos semelhantes ao longo do período de medições. Há, no entanto, que apontar algumas diferenças, nomeadamente entre a fase noturna e diurna. Durante o dia, é a cobertura verde do compartimento de teste que apresenta o maior fluxo para o exterior da célula. Este facto pode ser comprovado pelo gráfico da Figura 4.8 onde são visíveis as temperaturas dos dois compartimentos. Durante este período, o compartimento de teste apresenta temperaturas inferiores às do compartimento de controlo indicando que existe uma pequena diferença na libertação de calor entre as coberturas, sendo a cobertura de teste aquela que liberta mais calor.

Durante a noite, a cobertura verde apresentou, durante quase todo o período de medições um fluxo de calor ligeiramente mais elevado. Esta pequena diferença diz respeito ao armazenamento de calor nos componentes da cobertura, que é libertado quando a temperatura na sua envolvente diminui para valores inferiores à que esta apresenta.

---

## Capítulo 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para alcançar os objetivos propostos para este estudo foi necessária uma revisão bibliográfica acerca da temática das coberturas verdes e dos estudos já efetuados. A montagem do laboratório experimental e a instalação da instrumentação que possibilitou a aquisição de dados experimentais constituiu uma grande parte deste trabalho. Após a sua instalação foi possível obter um sistema estável, relativamente versátil, que permite a recolha de dados fiáveis que podem contribuir para outros estudos no futuro.

Devido às características da célula de teste, constatou-se através dos dados obtidos, que a radiação solar incidente no interior da célula exerceu grande influência nos resultados. De facto, e como foi analisado, esta célula permite simular um edifício com a orientação ótima em termos de ganhos solares, a sua orientação é feita a sul, para que no inverno, os ganhos solar através da fachada sejam grandes, aproveitando o máximo de horas solares. Devido ao período em que ocorreram as medições, os ganhos solares através da fachada foram bastante altos, elevando as temperaturas interiores e forçando o fluxo de calor para o exterior da célula onde as temperaturas se apresentavam mais baixas. Verificou-se por isso, fluxos de calor muito elevados para o exterior da célula, não permitindo verificar as diferenças de fluxo para o interior durante a fase diurna. No entanto, foi possível constatar que os valores de fluxo foram muito semelhantes, apresentando a cobertura verde em alguns períodos do dia, maiores perdas de calor em relação à cobertura tradicional. Facto que explica as temperaturas interiores mais baixas que registou durante a maior parte das fases diurnas do período de medições. Para a fase noturna o compartimento de teste apresentou valores de fluxo positivo, ou seja, para o interior do compartimento, ligeiramente superiores à cobertura de controlo, evidenciando uma menor inércia térmica.

Relativamente às temperaturas superficiais medidas nas superfícies da célula, este estudo confirmou que a vegetação pode ter um papel ativo na sua redução porque como foi confirmado pelos registos, apesar das temperaturas superficiais se apresentarem sempre superiores à temperatura do ar exterior, devido à exposição direta das sondas de temperatura, foram medidas temperaturas mais baixas na superfície da cobertura verde, o que foi provocado pela diminuição da reflexão da radiação solar nas sondas de temperatura e ainda pelas funções biológicas da vegetação como a evaporação e transpiração.

---

No presente estudo não foi possível calcular o valor de atraso térmico destas coberturas devido às altas temperaturas que se fizeram sentir no interior da célula, apresentando-se sempre superiores às temperaturas do ar externo durante o dia.

Neste estudo, concluiu-se que sobre as condições exclusivas deste ensaio, o desempenho térmico das duas coberturas foi semelhante, com desvantagem para a cobertura verde devido as maiores, embora pequenas, perdas de calor que apresentou durante alguns períodos diurnos. Isto significa que em condições de inverno, a cobertura verde em estudo não conseguiu suplantar uma cobertura tradicional na manutenção do calor no interior do edifício.

Como sugestões para estudos futuros, e dado que durante a instalação do laboratório experimental houve o cuidado de simular a orientação do edifício e a fachada quase totalmente exposta à radiação solar, simulando a orientação mais eficaz energeticamente, era importante para estudos futuros, equipar a célula de teste com um sistema de sombreamento e criar condições para permitir os processos de ventilação natural para que as condições fossem as mais fiéis à realidade, permitindo atingir temperaturas mais estáveis no interior, não atingindo valores de fluxo negativos tão altos. Com estas alterações implementadas, era importante também escolher outro período, nomeadamente durante o verão, onde os estudos analisados comprovam ser a fase mais favorável para analisar as vantagens térmicas destas coberturas.

---

## BIBLIOGRAFIA

ÁGUAS DE PORTUGAL - ETAR de Alcântara, Lisboa [em linha]. [Consult. 27 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=2863&t=ETAR-de-Alcantara--Lisboa>>.

ALUMASC, EXTERIOR BUILDING PRODUCTS LTD- ZinCo Green Roof Systems. United Kingdom, 2007.

ANDRADE, NIXON CÉSAR DE - Desempenho térmico de cobertura verde utilizando a grama Brachiaria humidicola na cidade de São Carlos-SP. Universidade Federal de São Carlos, 2007.

Proceedings of the First North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Toronto, Canada, 2003, The impact of green roofs on Toronto's urban heat island. Cardinal Group,

CARTER, TIMOTHY e JACKSON, C. RHETT - Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. Landscape and Urban Planning. ISSN 0169-2046. Vol. 80, n.º 1–2 (2007), p. 84-94.

CASTLETON, H. F., STOVIN, V., BECK, S. B. M. e DAVISON, J. B. - Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 42, n.º 10 (2010), p. 1582-1591.

CHARLESTON GREEN ROOFS - Green roofs around the world [em linha]. [Consult. 25 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://charlestonegreenroofs.com/>>.

CORREA, CELINA BRITTO - Análisis de la Viabilidad y Comportamiento Energético de la Cubierta Plana Ecológica. Universidad Politécnica de Madrid, 2001.

COSTA, LUÍS MIGUEL LOUREIRO - Espaços Verdes Sobre Cobertura, Uma Abordagem Estética e Ética. Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

DEL BARRIO, E. P. - Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 27, n.º 2 (1998), p. 179-193.

DUNNET, NIGEL e KINGSBURY, NOEL - Planting Green Roofs and Living Walls. Portland: Timber Press, 2004. ISBN 13: 978-0-88192-911-9.

EMORY KNOLL FARMS, INC. - Green roof plants [em linha]. [Consult. 25 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.greenroofplants.com/>>.

EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies [em linha]. 2012. [Consult. 15 de Maio 2012]. Disponível na internet:<URL:<http://www.epa.gov/hiri/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>>.



---

EUMORFOPOULOU, EKATERINI e ARAVANTINOS, DIMITRIS - The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 27, n.º 1 (1998), p. 29-36.

FIORETTI, R., PALLA, A., LANZA, L. G. e PRINCIPI, P. - Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. Building and Environment. ISSN 0360-1323. Vol. 45, n.º 8 (2010), p. 1890-1904.

RCI 21st International Convention, Phoenix, AZ, 2004, Practical Considerations on Design and Installation of Green Roofs: The Waterproofing Challenge.

FLL, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. -- Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-roof sites: Roof-Greening Guideline. Colmantstr. 32, 53115 Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. - FLL, 2002.

FUTURENG - Coeficiente de condutibilidade térmica [em linha]. [Consult. 14 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.futureng.pt/coeficiente-de-condutibilidade-termica>>.

GETTER, KRISTIN L. e ROWE, D. BRADLEY - The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. HortScience. Vol. 41(5) (2006), p. 1276-1285.

GONÇALVES, HELDER e GRAÇA, JOÃO MARIZ - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal [em linha]. Lisboa: Tipografia Peres, 2004. [Consult. Disponível na internet:<URL:<http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>>]. ISBN 972-8268-34-3.

GREENROOFS.COM - School of Art, Design and Media at Nanyang Technological University [em linha]. [Consult. 25 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.greenroofs.com/>>.

GRO - The GRO Green Roof Code - Green Roof Code of Best Practice for the UK 2011 [em linha]. Sheffield, UK: Groundwork Sheffield, 2011. [Consult. 20 outubro 2012]. Disponível na ISBN 978-0-9568378-0-6.

HENEINE, MARIA CRISTINA ALMEIDA DE SOUZA - Cobertura Verde. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

HYDRO-SEEDING, TWIN CITY - Green Roof Systems [em linha]. [Consult. 25 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://twincityhydroseeding.com/green-roof-systems.html>>.

ICP DAS, INDUSTRIAL CONTROL PRODUCTS & DATA ACQUISITION HARDWARE - EZ Data Logger [em linha]. [Consult. 10 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.icpdas.com/products/Software/ez\\_data\\_logger/ez\\_data\\_logger.html](http://www.icpdas.com/products/Software/ez_data_logger/ez_data_logger.html)>.

IGRA - International Green Roof Association [em linha]. [Consult. 20 junho 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.igra-world.com/>>.

INCROPERA, FRANK P. e WITT, DAVID P. DE - Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Third Edition. John Wiley & Sons, 1990. ISBN 0-471-51729-1.

---

JACOBSON, CAROL R. - Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. Journal of Environmental Management. ISSN 0301-4797. Vol. 92, n.º 6 (2011), p. 1438-1448.

JAFFAL, I., OULDBOUKHITINE, S. E. e BELARBI, R. - A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy. ISSN 0960-1481. Vol. 43, n.º 0 (2012), p. 157-164.

JIM, C. Y. e HE, H. M. - Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. Ecological Engineering. ISSN 0925-8574. Vol. 36, n.º 8 (2010), p. 1052-1063.

LANDLAB - Tapetes de Sedum [em linha]. [Consult. 23 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.landlab.pt/prod.php?id=9>>.

RCI 18th International Convention and Trade Show, Tampa, Florida, 2003, Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation.

LIU, K. e BASKARAN, B.- Thermal performance of extensive green roofs in cold climates: 2005 World Sustainable Building Conference. Tokyo, Japan, 2005. Disponível em WWW:<URL:<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc48202/nrcc48202.pdf>>.

Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show, Chicago, IL, 2003, Thermal performance of green roofs through field evaluation.

LIU, KAREN - Research quantifies benefits of rooftop gardens [em linha]. [Consult. 24 Outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/ci/volume-7-n1-11.html>>.

LIVINGROOFS - On Green Roofs and Brown Roofs [em linha]. [Consult. 3 setembro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://livingroofs.org/>>.

LIVINGROOFS.ORG - Green Roofs - Benefits and Cost Implications. Birmingham, Reino Unido: 2004.

LOPES, JORGE M. GRANDÃO- As especificações das coberturas ajardinadas: 2º Congresso Nacional de Construções. Lisboa, 2004.

MITJÁ, A., ESTEVE, J. e ESCOBAR, J. - Estalvi d'energia en el Disseny d'edificis. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1986.

MONTEIRO, ANA CATARINA SOUSA AMARAL - Coberturas "verdes": Mitos e Realidades. Universidade de Coimbra, 2010.

MORAIS, CAROLINE SANTANA DE - Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP.. Universidade Federal de São Carlos, 2004.

MORAN, AMY CHRISTINE - A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. North Carolina State University, 2004.

---

NATIONAL GEOGRAPHIC - Up on the roof [em linha]. [Consult. 30 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://ngm.nationalgeographic.com/2009/05/green-roofs/cook-photography>>.

NEOTURF - Neoturf [em linha]. [Consult. 30 outubro 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.neoturf.pt/pt>>.

NIACHOU, A., PAPAKONSTANTINO, K., SANTAMOURIS, M., TSANGRASSOULIS, A. e MIHALAKAKOU, G. - Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 33, n.º 7 (2001), p. 719-729.

OBERNDORFER, ERICA, LUNDHOLM, JEREMY, BASS, BRAD, COFFMAN, REID R., DOSHI, HITESH, DUNNETT, NIGEL, GAFFIN, STUART, KÖHLER, MANFRED, LIU, KAREN K. Y. e ROWE, BRADLEY - Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. BioScience. ISSN 0006-3568. Vol. 57, n.º 10 (2007), p. 823.

OLIVEIRA, ERIC WATSON NETTO DE - Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

ONMURA, S., MATSUMOTO, M. e HOKOI, S. - Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 33, n.º 7 (2001), p. 653-666.

PECK, STEVEN e KUHN, MONICA - Design guidelines for green roofs. [em linha]. (2003). [Consult. 30 outubro 2012 2003]. Disponível na internet:<URL:<http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>>.

PECK, STEVEN W., CALLAGHAN, CHRIS e KUHN, MONICA E. - Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada. [em linha]. (1999). [Consult. 30 outubro 2012 1999]. Disponível na internet:<URL:<http://greenroofs.org/pdf/Greenbacks.pdf>>.

SILVA, PEDRO CORREIA PEREIRA DA - Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE. Universidade do Minho, 2006.

SUSCA, T., GAFFIN, S. R. e DELL'OSSO, G. R. - Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. Environ Pollut. ISSN 1873-6424 (Electronic) 0269-7491 (Linking). Vol. 159, n.º 8-9 (2011), p. 2119-26.

THEODOSIOU, THEODORE G. - Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 35, n.º 9 (2003), p. 909-917.

URBIS, LIMITED - Study On Green Roof Application In Hong Kong - Final Executive Summary. 2007.

VECCHIA, FRANCISCO - Cobertura Verde Leve (CVL): Ensaio Experimental. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) [em linha]. (2005). [Consult. 16 outubro 2005]. Disponível na internet:<URL:[http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121\\_COBERTURA\\_VERDE\\_LEVE\\_ENSAIO\\_EXPERIMENTAL.pdf](http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121_COBERTURA_VERDE_LEVE_ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf)>.

WARK, CHRIS - Green Roof Energy Series Archives [em linha]. [Consult. 14 novembro 2012]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.greenroofs.com/archives/energy\\_editor.htm](http://www.greenroofs.com/archives/energy_editor.htm)>.

---

WONG, N. H., CHEONG, D. K. W., YAN, H., SOH, J., ONG, C. L. e SIA, A. - The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings. ISSN 0378-7788. Vol. 35, n.º 4 (2003), p. 353-364.

YOK TAN, P. e SIA, A.- A Pilot Green Roof Research Project in Singapore: 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities. Washington, DC: The Cardinal Group, Toronto, 2005.

ZINCO - ZinCo [em linha]. [Consult. 12 julho 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.zinco-greenroof.com/EN/index.php>>.